

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Kartografie a geoinformatiky



Bc. Kamila ROHELOVÁ

## **ŠRAFY V DIGITÁLNÍ KARTOGRAFII**

## **HACHURES IN DIGITAL CARTOGRAPHY**

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Jakub Lysák

Praha, 2014

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze 6. 5. 2014

.....  
Kamila Rohelová

### **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu své práce RNDr. Jakubovi Lysákovi za věnovaný čas, množství cenných rad a konstruktivní připomínky. Děkuji také své rodině za podporu po celou dobu studia.

## Šrafy v digitální kartografii

### Abstrakt

Předložená diplomová práce se zabývá možnostmi tvorby šraf, především sklonových a stínových, v digitální kartografii. První část práce se věnuje využití šraf a jejich konstrukcí v klasické kartografii. Jsou popsána pravidla, kterými by se měli autoři těchto map řídit. V dalším úseku jsou rozebrány stávající možnosti, jak v digitální kartografii vytvořit šrafy. Jsou zhodnoceny již existující algoritmy. Na základě pravidel tvorby šraf a studia literatury je navržena vlastní metodika. Důraz je kladen na automatizaci tvorby s využitím moderních technologií geoinformačních systémů, jejíž podstatou je analýza digitálních modelů terénu. Součástí práce je rovněž testování algoritmu nad reálnými daty.

**Klíčová slova:** šrafy, digitální kartografie, znázorňování výškopisu

## Hachures in Digital Cartography

### Abstract

This thesis deals with the possibilities of creating hachures, especially slope and shadow, in digital cartography. First part focuses on utilization of hachures and its construction in classic cartography. The rules that should be observed by the mapmaker are described. In the next section are delineated the current possibilities how to create hachures in digital cartography. The existing algorithms are evaluated. On the basis of the rules and research of literature is designed own methodology. Emphasis is put on automation using digital terrain model. The work as well contains testing the algorithm on the real data.

**Key words:** hachures, digital cartography, hypsography



## OBSAH

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Šrafy z pohledu klasické kartografie.....</b>	<b>11</b>
2.1 Druhy šraf .....	11
2.2 Šrafy v České republice .....	15
2.3 Pravidla pro tvorbu šraf.....	16
<b>3. Šrafy z pohledu digitální kartografie .....</b>	<b>20</b>
3.1 Skenované podklady a vektorizace šraf .....	20
3.2 Automatizované algoritmy pro tvorbu šraf .....	20
<b>4. Metodika pro tvorbu sklonových / stínových šraf v digitální kartografii.....</b>	<b>27</b>
4.1 Úvod.....	27
4.2 Postup pro automatizaci tvorby šraf.....	27
4.2.1 Příprava vstupních dat a určení parametrů .....	28
4.2.2 Vykreslení iniciálních šraf.....	31
4.2.3 Doplnění iniciálních šraf.....	37
4.2.4 Zkrácení šraf v místech slévání šraf.....	39
4.2.5 Doplnění šraf v místech velké mezery mezi šrafami .....	42
4.2.6 Výpočet tloušťky šrafy.....	43
<b>5. Výsledky implementace navrženého postupu.....</b>	<b>46</b>
5.1 Software a data.....	46
5.2 Testování nad reálnými daty .....	48
<b>6. Diskuze.....</b>	<b>61</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>64</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Ukázka vrstevnicového a šrafovaného obrazu topografické plochy.....	10
Obr. 2	Ukázka současné komerčně úspěšné mapy .....	10
Obr. 3	Kreslířské šrafy .....	11
Obr. 4	Krajinné šrafy .....	12
Obr. 5	Sklonové šrafy .....	13
Obr. 6	Lehmannova šrafovací stupnice .....	13
Obr. 7	Sklonové šrafy, Stínové šrafy .....	13
Obr. 8	Technické šrafy .....	14
Obr. 9	Topografické šrafy.....	14
Obr. 10	Fyziografické šrafy .....	15
Obr. 11	Výřez z mapy II. vojenského mapování .....	16
Obr. 12	Vrstevnice se spádovými křivkami .....	16
Obr. 13	Styl uspořádání šraf .....	17
Obr. 14	Ukázka Lehmannovy šrafovací stupnice pro sklonové šrafy .....	17
Obr. 15	Ukázka vlivu rozdílného počtu šraf na cm <sup>2</sup> na výsledný efekt .....	18
Obr. 16	Sklonové šrafy, Stínové šrafy .....	18
Obr. 17	Šrafy vytvořené Yoeliho algoritmem .....	21
Obr. 18	Metoda navržená Kennellym a Kimerlingem .....	22
Obr. 19	Výsledek algoritmu automatizace tvorby šraf (O`Loughlin; Mackaness).....	23
Obr. 20	Výstupy dílčích kroků algoritmu .....	24
Obr. 21	Výsledek automatizace s vrstevnicemi, .....	24
Obr. 22	Výstup z aplikace PlaceSlope .....	25
Obr. 23	Vzor pomocí, kterého jsou znázorňovány šrafy .....	25
Obr. 24	Šrafy vytvořené Migurskim.....	26
Obr. 25	Vstupní data: .....	29
Obr. 26	Vrstevnice s lokálním maximem (Zdroj: autor) .....	29
Obr. 27	Nejvyšší vrstevnice je vrstevnicí doplňkovou, .....	30
Obr. 28	Šrafy vytvořené pomocí kolmic z horní vrstevnice .....	31
Obr. 29	Šrafy vytvořené pomocí kolmic z vrstevnice doplňkové.....	32
Obr. 30	Vrstevnice doplňková vs. střednice .....	33
Obr. 31	Iniciální šrafy .....	33

Obr. 32	Iniciální šrafy jsou tvořeny pomocí směru největšího spádu .....	34
Obr. 33	Křížení iniciálních vrstevnic v údolí .....	35
Obr. 34	Aproximace údolnic .....	35
Obr. 35	Iniciální šrafy s podkadem vrstevnic .....	36
Obr. 36	Chybně vytvořené iniciální šrafy a jejich vliv na šrafy ostatní.....	36
Obr. 37	Princip užití Thiessenových polygonů pro vytvoření medial axis.....	37
Obr. 38	Princip doplňování šraf .....	37
Obr. 39	Zahuštění vrstevnice vertexy. ....	38
Obr. 40	Princip zapisování hodnot dle iterace, ve které byly šrafy vygenerovány .....	38
Obr. 41	Princip rozdělování polygonů do skupin .....	38
Obr. 42	Příklad místa, kde dochází ke slévání šraf .....	39
Obr. 43	Rozdělování šraf na části pro zkracování šraf .....	39
Obr. 44	Metoda pro krácení šraf .....	42
Obr. 45	Vznikající mezery mezi šrafami .....	43
Obr. 46	Stínovaný model terénu .....	44
Obr. 47	Určování tloušťky šrafy dle úhlu, který svírá se zdrojem světla .....	44
Obr. 48	Výřez 1. testovacího území s podkladem III. vojenského mapování .....	47
Obr. 49	Výřez 2. testovacího území s podkladem II. vojenského mapování .....	47
Obr. 50	Výřez 2. testovacího území s podkladem III. vojenského mapování .....	48
Obr. 51	Vstupní data testovací lokality 1.....	49
Obr. 52	Vstupní vrstevnice testovací lokality 2 s rastrem sklonitostí.....	49
Obr. 53	Rastr s oblastmi akumulace vody .....	50
Obr. 54	Vytvořené zóny okolo aproximací údolnic .....	51
Obr. 55	Výstup z fáze tvorby iniciálních šraf lokality 1 .....	51
Obr. 56	Problémové místo, kde dochází ke křížení. ....	52
Obr. 57	Výstup z fáze tvorby iniciálních šraf lokality 2 .....	52
Obr. 58	Doplňování šraf probíhalo po skupinách, tak aby se proces zrychlil .....	53
Obr. 59	Sedla jsou problémovými místy. ....	54
Obr. 60	Výsledek fáze doplnění šraf mezi šrafy iniciální pro lokalitu 2 .....	54
Obr. 61	Výsledek špatně orientované šrafy .....	55
Obr. 62	Výstup z fáze zkrácení šraf u lokality 2 .....	56
Obr. 63	Výsledek po fázi zkrácení šraf .....	56
Obr. 64	Doplnění šrafy touto fází .....	57
Obr. 65	Kombinace tloušťky a barvy pro konečnou vizualizaci šraf .....	58
Obr. 66	Využití tónů šedi pro konečnou vizualizaci šraf.....	58
Obr. 67	Konečný výsledek lokality 1 v měřítku 1:25 000 .....	58
Obr. 68	Konečný výsledek lokality 2 v měřítku 1:25 000 .....	59
Obr. 69	Konečný výsledek lokality 1 v měřítku 1:15 000 .....	59
Obr. 70	Šrafy vytvořené v první etapě vývoje algoritmu s využitím kolmic .....	61
Obr. 71	Výstup z algoritmu od Yoeliho .....	62

Obr. 72	Šrafy vytvořené konečnou fází algoritmu .....	62
Obr. 73	Automatická tvorba šraf na jednoduchém objektu .....	62
Obr. 74	Místo, kde by bylo potřeba doplnit malou vrstevnici na vrcholu .....	63
Obr. 75	Oblast údolí, na které by bylo dobré se v budoucnu zaměřit .....	63

## KAPITOLA 1

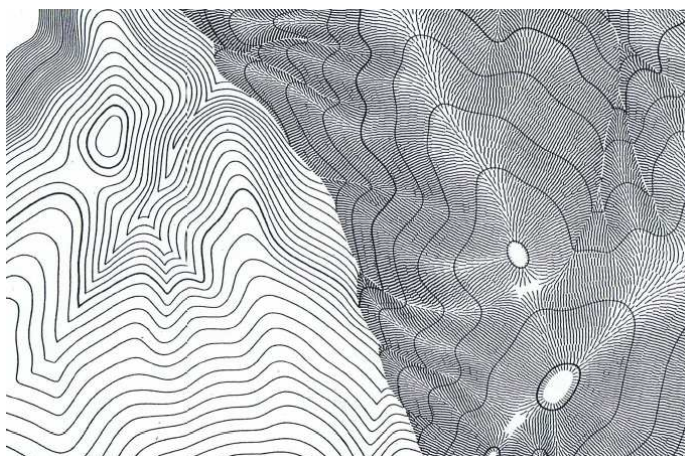
### Úvod

Jedním z prvků mapy je výškopis představující obraz výškových poměrů. Zobrazení reliéfu je pravděpodobně největším problémem v kartografii a pramení z potřeby zobrazit třetí rozměr ve dvourozměrném prostoru mapy (Regnauld; Mackaness; Hart; 2002). Za celou historii zaznamenávání výškopisu do map bylo používáno mnoho různých metod. První z nich byly vyhotovovány pouze na základě odhadování a znázorňovaly se přibližným zakreslováním kopečků. Tato schematická kopečková metoda, která měla spíše estetickou názornost než geometricky přesnou interpretaci, byla poté nahrazena metodou šraf.

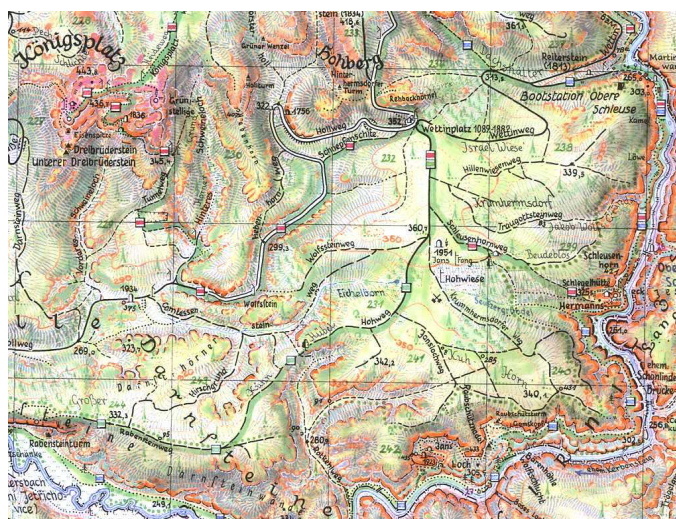
Šrafy byly velmi využívány v první polovině 19. století. Ale díky své extrémní pracnosti, potřebě velmi zkušené a kvalifikované pracovní síle pro jejich kresbu a značného grafického zatížení mapy, od nich bylo poté upuštěno ve prospěch vrstevnic a stínování ve druhé polovině 19. století. Dnes mají pouze doplňkovou funkci ke znázornění drobných terénních útvarů, které nelze vhodně zachytit pomocí vrstevnic. Všeobecný názor je, že šrafy jsou již zastaralou metodou a dnešní kartografie má na výběr pro zobrazení reliéfu pouze dvě možnosti, a to vrstevnice a stínování (Robinson et al., 1985).

Přesto v určitých případech i v dnešních dnech nacházejí své uplatnění. Ne všechny terénní tvary jsou vrstevnicemi názorně a věrně zachytitelné. Např. v oboru archeologie zůstávají šrafy nejsrozumitelnější a nepříjemnější formou reprezentace (Clark, 1996). Dovolují čtenáři rozlišit relativně malé objekty reliéfu (Putman, 1988). Problémem vrstevnic je, že poskytují informaci pouze o nadmořské výšce reliéfu a nesymbolizují objekt, který popisují. Určitý vrstevnicový interval nutný k rozestupu mezi vrstevnicemi může způsobit, že důležitý detail bude tímto ztracen. Kdyby byl vrstevnicový interval takový, aby nebyly ztraceny žádné detaily, mohlo by dojít ke slití jednotlivých vrstevnic a výsledný obraz by tak byl nečitelný (O'Loughlin; Mackaness, 1999). Šrafy mohou být také využívány pro strukturní analýzy krajiny (Yoeli, 1985). Další výhodou šraf je, že jsou ve srovnání s vrstevnicemi na první pohled názornější a i laikovi, který má se čtením vrstevnic problémy, umožní poměrně dobře určit průchodnost terénu (Lysák, 2008). Samotné šrafy lépe vykreslují terén než vystínování terénu. Mají také svůj vlastní atraktivní grafický styl. Působí abstraktněji než stínování a snad z tohoto důvodu jsou více vypovídající (Slocum, 2005). Na obrázku 1 je ukázka vrstevnicového a šrafovaného obrazu topografické plochy. A v neposlední řadě jsou zde tvůrci map, kteří by rádi vytvořili novou

mapu starého vzhledu za použití šraf. Obrázek 2 zobrazuje ukázkou jedné ze současných komerčně úspěšných map, kde se šrafy používají.



**Obr. 1 Ukázka vrstevnicového a šrafovaného obrazu topografické plochy. (Zdroj: Kuchař, 1953)**



**Obr. 2 Ukázka současné komerčně úspěšné mapy (Zdroj: [http://boehmwanderkarten.de/kv/is\\_mhhd.html](http://boehmwanderkarten.de/kv/is_mhhd.html))**

Z těchto důvodů se zvýšila potřeba automatizace tvorby šraf, protože je nyní velmi náročná jak z časového, tak ekonomického hlediska. Práce se snaží o nalezení způsobu tvorby a využití sklonových a stínových šraf v digitální kartografii. V úvodu práce bude nejdříve provedeno studium šraf a jejich pravidel v klasické kartografii. Prostor bude věnován také stávajícím algoritmům pro tvorbu šraf. Hlavním cílem diplomové práce bude navrhnout metodiku pro tvorbu stínových šraf v digitální kartografii a poté otestovat její funkčnost. Důraz bude kladen na automatizaci tvorby s využitím moderních technologií geoinformačních systémů, jejíž podstatou je analýza digitálních modelů reliéfu. V závěrečné části práce pak bude testování navrženého algoritmu nad reálnými daty.

## KAPITOLA 2

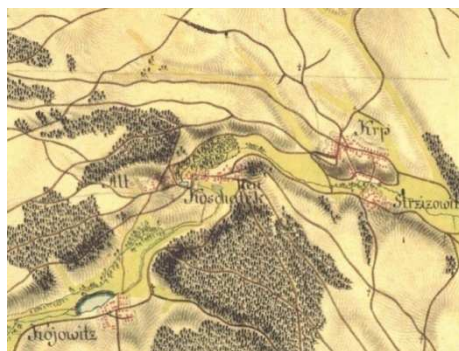
### Šrafy z pohledu klasické kartografie

Jednou z možností zachycení třetího rozměru do dvojrozměrné mapy v klasické kartografii je použití šraf. Šrafy jsou definovány jako krátké čáry, jimiž se v mapě zobrazují půdorysné průměty částí spádových křivek zemského povrchu (Čapek, Mikšovský, Mucha, 1992). Mají proměnnou délku, tloušťku a hustotu, výjimečně mají tvar trojúhelníkový (Hojovec ...[et al.], 1987). Šrafy na mapě vytvářejí tónové variace, které jsou formou stínování reliéfu vyvolávající představu třetího rozměru. Stejně jako stínování může být šrafování se svislým nebo šikmým osvětlením pro vytvoření tohoto efektu (Kennelly, Kimerling).

Počátek využívání šraf je nejistý (Hojovec ...[et al.], 1987). Kuchař, (1953) považuje, že první použití šraf bylo v 18. století, kdy bylo využito šraf podél vodních toků. Šrafy neměly z počátku jiný úkol nežli vystínovat šikmo světelný povrch krajiny.

#### 2.1 Druhy šraf

**Kreslířské šrafy** jsou nejstarším použitím šraf. Stále ještě nemají žádnou geometrickou hodnotu, jsou schematickým zachycením sklonových poměrů krajiny. Mají různou délku, mohou být zakřivené i přímé. Na mírných svazích jsou delší a řidší, naopak v místech prudšího spádu kratší a hustší (Hojovec ...[et al.], 1987). Tato šrafa se často lišila od dnešní i tím, že se její čáry křížily (Kuchař, 1953). Někdy se jim proto říká křížové šrafy. Pomocí kreslířských šraf byl zobrazen výškopis prvního vojenského mapování (obr. 3).



Obr. 3 Kreslířské šrafy – I. vojenskémapování (Zdroj: <http://www.krpy.cz/admin/files/Image/mapy/1mapovani-velka.jpg> )



**Krajinné šrafy** se používají na mapách malých měřítek. Zobrazují pouze velmi generalizované terénní tvary, nepotlačují tak polohopis a popis mapy (Hojovec ...[et al.], 1987).



Obr. 4 Krajinné šrafy – I. vojenské mapování (Zdroj: Hojovec, 1987)

**Sklonové (svahové) šrafy** jsou prvními skutečnými šrafami. Matematický základ sklonových šraf položil roku 1799 saský kartograf J. G. Lehmann. Vycházel z poznatku, že čím je plocha strmější, tím je méně osvětlena a tudíž temnější (Novák, Murdych, 1988). Sklon topografické plochy je udáván poměrem síly černé čáry k bílým mezerám mezi nimi (Kuchař, 1953). Je vycházeno z předpokladu, že sluneční paprsky dopadají svisle na terén. Užívá se vzorec:

$$\frac{\text{stín}}{\text{světlo}} = \frac{\text{tloušťka šrafy}}{\text{šířka mezery}} = \frac{\alpha^\circ}{45^\circ - \alpha^\circ}$$

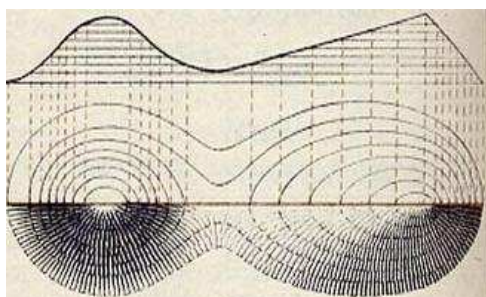
podle, kterého vodorovné plochy v mapě zůstanou bílé, gradace zastínění potom postupuje úměrně sklonům svahu až do maximální hodnoty 45° (Hojovec ...[et al.], 1987). Sklony nad 45° jsou v přírodě celkem řídké, proto byla stupnice Lehmannem omezena na tuto hodnotu (Kuchař, 1953). V Lehmannově stupnici, která určuje poměr černé a bílé plochy dle sklonu, se již reliéf se sklonem nad 45° zcela černý (obr. 6). Pro jednotlivé ústřední mapy byly zavedeny různé šrafovací stupnice, jdoucí podle potřeby až do 50, 60 nebo i 80°. Sklon je v nich zpravidla udáván počtem šraf na 1 cm. Aby bylo možné použít šrafury k určování sklonu částí topografické plochy, museli bychom znát šrafovací stupnici. Dnes již nebývají šrafované mapy doprovázeny šrafovacími stupnicemi, šrafura slouží spíše jako pomůcka k samovolné modelaci vyvolávající dojem plastického obrazu (Kuchař, 1953).

Sklonové šrafy vyjadřují strmost jak svojí tloušťkou, tak i délkou (Čapek, Mikšovský, Mucha, 1992). V této tónovací metodě se hřbetnice a jejich vodorovné okolí jeví díky svislému osvětlu jako bílé plochy. U topografických map různých států je možno se setkat s řadou modifikací sklonových šraf. Těchto šraf bylo užito na speciálních mapách III. vojenského mapování (obr. 5). Počet šraf v délkové jednotce byl konstantní – 25 šraf/cm, jejich délka nejvýše 4 mm. Vyrytí šrafur pro jeden mapový list trvalo až čtyři roky (Hojovec ...[et al.], 1987).





Obr. 5 Sklonové šrafy – III. vojenské mapování (Zdroj: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Lehmannovy\\_%C5%A1rafy](http://cs.wikipedia.org/wiki/Lehmannovy_%C5%A1rafy))



Obr. 6 Lehmannova šrafovací stupnice (Zdroj: <http://vilemwalter.cz/mapabrna/vysvetlivky/lehmann.jpg>)

**Stínové šrafy** jsou dalším typem pravých šraf. Představují kombinaci metody stínování se sklonovými šrafi. Poprvé byly použity roku 1836 G. H. Doufourem, který zjistil, že strmost svahu je již dána délkou šraf a že ji není nutné zdůrazňovat ještě tloušťkou. Bylo tedy možno využít proměnlivé tloušťky šraf jako prostředku k vytvoření plastického dojmu podle principu šikmého severozápadního osvětlení (Čapek, Mikšovský, Mucha, 1992). Na tento úhel dopadu paprsků a osvětlení předmětů je lidské oko tak zvyklé, že jen podle tohoto principu na mapě vypracované stínování v nás vzbuzuje dojem skutečné plasticity terénu (Kuchař, 1953). Světle šrafované osvětlené svahy a tlustě šrafované zastíněné svahy působí přehledněji než při použití sklonových šraf. Jejich výhodou je jejich velká plasticita a snadnější identifikace hřbetnic a údolnic (Čapek, Mikšovský, Mucha, 1992). Obrázek 7 znázorňuje rozdíl mezi sklonovými a stínovými šrafi.



Obr. 7 (a) Sklonové šrafy, (b) Stínové šrafy (Zdroj: Imhof, 2007)



**Skalní šrafy** jsou stínované čáry, které jsou používány ke znázorňování skal (Čapek a kol, 1992). Hojovec...[et al.], (1987) je nazývá jako fyziografické šrafy. Patří mezi další šrafy, které nemají geometrickou hodnotu pravých šraf a slouží převážně jako výplň jednotlivých dílčích ploch omezených terénními hranami. Skalní šrafy se odlišují od ostatních tím, že jsou tvořeny jak vertikálními (tj. ve směru spádnic), tak horizontálními čarami (Čapek, Mikšovský, Mucha, 1992). Plastičnosti skalní šrafury lze dosáhnout šikmým osvitem. Obdobně je sesuvná oblast vymezena tečkování, kameny a kamenné řeky vyznačeny např. nepravidelnými orientovanými trojúhelníčky (Hojovec ...[et al.], 1987).



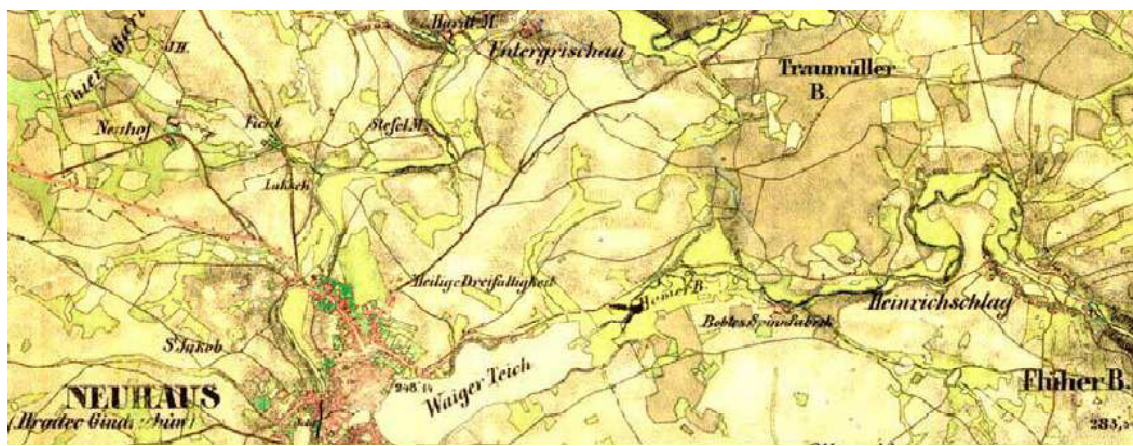
*Obr. 10 Fyziografické šrafy (Zdroj: [http://theses.cz/id/u0eizf/bp\\_fialova.pdf](http://theses.cz/id/u0eizf/bp_fialova.pdf))*

## 2.2 Šrafy v České republice

V našich zemích bylo šrafování využíváno především v období I. – III. vojenského mapování. Při I. vojenském mapování byla jako podklad použita zvětšenina Müllerovy mapy Čech, do které vojenští důstojníci zakreslovali situaci metodou „à la vue“. Mapování bylo prováděno bez geodetických základů, výškopis se kreslil pomocí kreslířských šraf (Veverka, Zimová, 2008).

Mapy II. vojenského mapování (Obr. 11) již byly prováděny na geodetických základech, výškopis se kreslil sklonovými šrafami (Huml ...[et al.], 2001). Poloha vrcholových tvarů a průběh čar terénní kostry byly zjišťovány pomocí grafického protínání. Měřením nebo odhadováním úhlů sklonu byly získávány potřebné údaje k půdorysnému vyjádření terénních šraf (Mikšovský, Zimová, 2010).

III. vojenské mapování řídil Vojenský zeměpisný ústav ve Vídni. Výšky se určovaly výškoměrem nebo barometricky (Huml ...[et al.], 2001). Terén byl znázorňován tzv. kombinovaným způsobem, tj. kótami, vrstevnicemi, šrafováním a lavírováním (Mikšovský, Zimová, 2010).

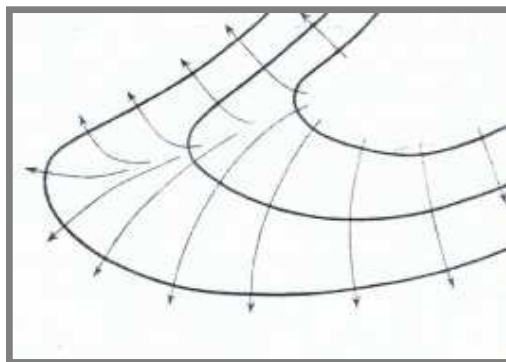


Obr. 11 Výřez z mapy II. vojenského mapování (Zdroj: Mikšovský, 2010)

## 2.3 Pravidla pro tvorbu šraf

Jelikož jsou šrafy kvantitativním zobrazením sklonu a orientace terénu, byla stanovena pravidla pro tvorbu šraf. Obecná pravidla se liší v závislosti na měřítku mapy a na použití šrafovaní s vertikálním či šikmým osvětlením. Jedním z kartografů, který sepsal pravidla pro kreslení šraf, je Švýcar Eduard Imhof. Následující pravidla jsou ustanovena pro sklonové šrafy zavedené Lehmannem, postavené na principu, čím je svah příkřejší, tím je povrch tmavěji vyšrafován. Tyto pravidla jsou dle Imhofa (2007):

1. Směr šraf je ve směru největšího sklonu (obr. 12).



Obr. 12 Vrstevnice se spádovými křivkami (Zdroj: Imhof, 2007)

2. Šrafy jsou uspořádány ve vodorovných řadách (obr. 13). Toto rozdělení šraf na části je nutné pro zachování hustoty šraf na celé mapě i v částech s prudkými poklesy terénu. Konstantní hustota vzoru je významným znakem kartografických šraf.

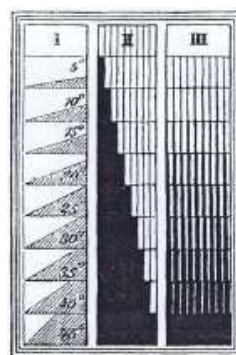




Obr. 13 Styl uspořádání šraf (Zdroj: Imhof, 2007)

3. Délka šraf odpovídá vzdálenosti mezi vrstevnicemi. Interval vrstevnic je vypočten na základě měřítka mapy tak, aby délka šrafy byla v místě největšího sklonu alespoň 0,2 mm, spíše 0,3 mm.
4. S rostoucím sklonem se tloušťka šraf zvětšuje. Stupeň tmavosti odpovídá sklonu terénu. Variací v intenzitě stínování je dosaženo tloušťkou šraf a příslušným intervalem mezi nimi. Hodnota sečtená délky tloušťky šrafy a její mezery je konstantní na celé mapě. Lehmann určil poměr černé a bílé dle sklonitosti takto:

Pro sklonitost	0°	0:9
	5°	1:8
	10°	2:7
	15°	3:6
	20°	4:5
	25°	5:4
	30°	6:3
	35°	7:2
	40°	8:1
	45°	9:0

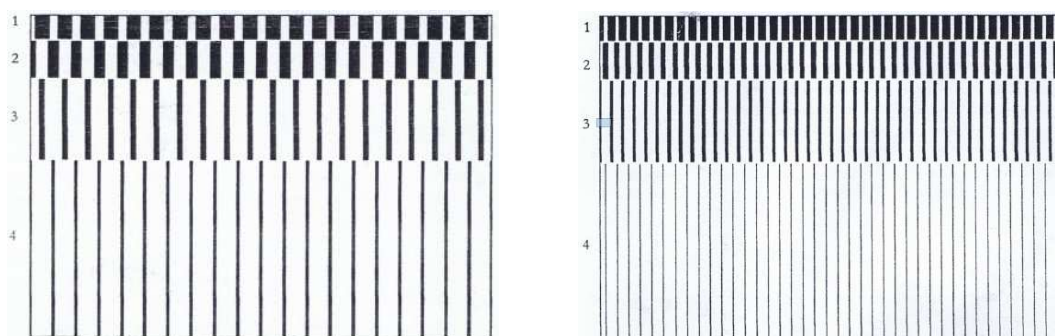


Obr. 14 Ukázka Lehmannovy šrafovací stupnice pro sklonové šrafy (Zdroj: Imhof, 2007)

Jak již bylo ale řečeno, šrafovací stupnice se na různých mapových dílech lišila od Lehmannovy. Podle území, měřítka a daných grafických potřeb byla upravována.

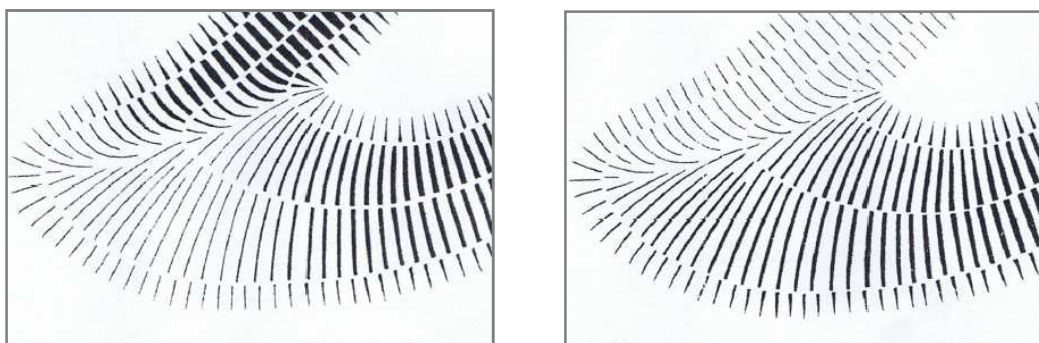
5. Hustota šraf je na celé mapě stálá, na 1 cm<sup>2</sup> musí být stejný počet šraf. Předchozí pravidlo určuje především vztah mezi tloušťkou šraf a interval mezi nimi, zatímco zde je dán rozměr. Pro určení hustoty šraf je klíčové měřítko mapy. Následující obrázky ukazují rozdílný grafický efekt, který způsobuje počet šraf na 1 cm<sup>2</sup>. Na obou příkladech je stejné měřítko, interval vrstevnic i tloušťka šrafy pro daný sklon, pouze hustoty šraf se liší. Na obr. 15 je 20 šraf na 1 cm<sup>2</sup>, zatímco na druhém 40 šraf na 1 cm<sup>2</sup>. Jak je patrné z obrázku, se zmenšujícím se měřítkem je vhodnější jemnější vzor, který

má více kompaktní, vyhlazující efekt. Například topografická mapa s měřítkem 1:25 000 má 20 šraf/1 cm<sup>2</sup>, na měřítku 1:100 000 je to už 34 šraf/1 cm<sup>2</sup>.



**Obr. 15** Ukázka vlivu rozdílného počtu šraf na cm<sup>2</sup> na výsledný efekt: (a) 20 šraf na cm<sup>2</sup>, (b) 40 šraf na cm<sup>2</sup>. Zvětšeno 6krát. (Zdroj: Imhof, 2007)

Všechna zmíněná pravidla musí být dodržena u tvorby map velkého měřítka s kolmým osvětlem. V případě šikmého osvětlení reliéfu, u stínových šraf, je pravidlo 5 pozměněno (obr. 16).



**Obr. 16** (a) Sklonové šrafy, (b) Stínové šrafy (Zdroj: Imhof, 2007)

Pro mapy malého měřítka menší než 1: 500 000 jsou pravidla pro tvorbu šraf dle Imhofa (2007) volnější. Tato práce řeší šrafy zejména pro mapy velkého měřítka.

V kartografické literatuře lze dále nalézt podrobnosti, resp. doplňující informace, k jednotlivým pravidlům. Krom uvedené knihy (Imhof, 2007), kde jsou pravidla specifikována velmi podrobně, např. Čapek, Mikšovský, Mucha (1992) uvádí tato pravidla pro sestrojování pravých šraf (sklonové a stínové) na podkladě vrstevnic:

1. Délka šraf odpovídá rozestupu mezi dvěma podkladovými vrstevnicemi, nemá však být menší než 0,3 mm a větší než 4 mm.
2. Protože jsou šrafy jakožto úseky spádnic kolmé na vrstevnice, nejde pouze o úsečky, nýbrž obecně o zakřivené čáry.
3. Šrafy jsou uspořádány v rovnoběžných nebo koncentrických řadách.

4. Hustota šraf na délkovou jednotku musí být na celé mapě stálá, na speciální mapě rakousko-uherského mapování při sklonu od  $5^\circ$  do  $40^\circ$  bylo 20 šraf na  $1\text{ cm}^2$  (u menšího sklonu pak méně).
5. Tloušťka šraf se mění podle metody šrafury: u sklonových šraf odpovídá sklonu svahu, u stínových šraf vyjadřuje šikmé osvětlení reliéfu.

Nicméně ani přesné dodržení těchto pravidel nezaručuje dobrý výsledek. Tvůrce mapy musí mít dobré znalosti terénu a kreslířské schopnosti pro překonání všech obtíží. To je třeba zohlednit při návrhu algoritmu.

Vrstevnice jsou většinou základem pro tvorbu šraf. Jejich využití je ale možné až u moderní produkce. Na začátku 19. století, v době vývoje Lehmannových šraf, byly vrstevnice dostupné jen ve velmi výjimečných případech. Tvůrci šraf se museli spokojit s velmi nepřesnými horizontálními liniemi s nejistou výškou a vertikálními intervaly. Délka a tloušťka šraf byla odstupňována pouze na základě přibližné sklonitosti terénu (Imhof, 2007).

## KAPITOLA 3

### Šrafy z pohledu digitální kartografie

Jelikož byla metoda šraf nahrazena metodou vrstevnic a stínováním nebo má pouze doplňkovou funkci, nebylo nalezeno příliš informací o pokusech automatické tvorby šraf prostředky digitální kartografie. Tato problematika není v ČR ani ve světě příliš zkoumána.

#### 3.1 Skenované podklady a vektorizace šraf

Nejčastější metodou jak dnes vytvořit šrafy v digitální kartografii, je převzetí stávajících podkladů. Za předpokladu velmi kvalitních podkladů, jejichž opětovná tvorba by byla enormně pracná a nákladná, lze šrafy vložit do digitální mapy jako rastrový obrázek a zkombinovat s dalšími vektorovými vrstvami. Další možností je provedení vektorizace šraf z rastrového obrázku. Vektorizace může být provedena ručně, což je velmi obtížné a zdoluhavé, nicméně méně náročné než vytváření šraf od začátku, nebo automaticky za předpokladu dostatečně kvalitních podkladů. Nevýhodami tohoto přístupu je problematická generalizace a velmi náročné provádění změn v takto vytvořených datech (Lysák, 2008).

Ze zmíněných důvodů je patrné, že tento postup není ideální. A v případě, že původní podklady vůbec neexistují, je nutné vytvořit šrafy ručně od začátku, což je velmi náročné. Přes nepříliš velký zájem o tuto problematiku byly ale nalezeny pokusy a určité již automatizované postupy snažící se tvorbu šraf v digitální kartografii zjednodušit.

#### 3.2 Automatizované algoritmy pro tvorbu šraf

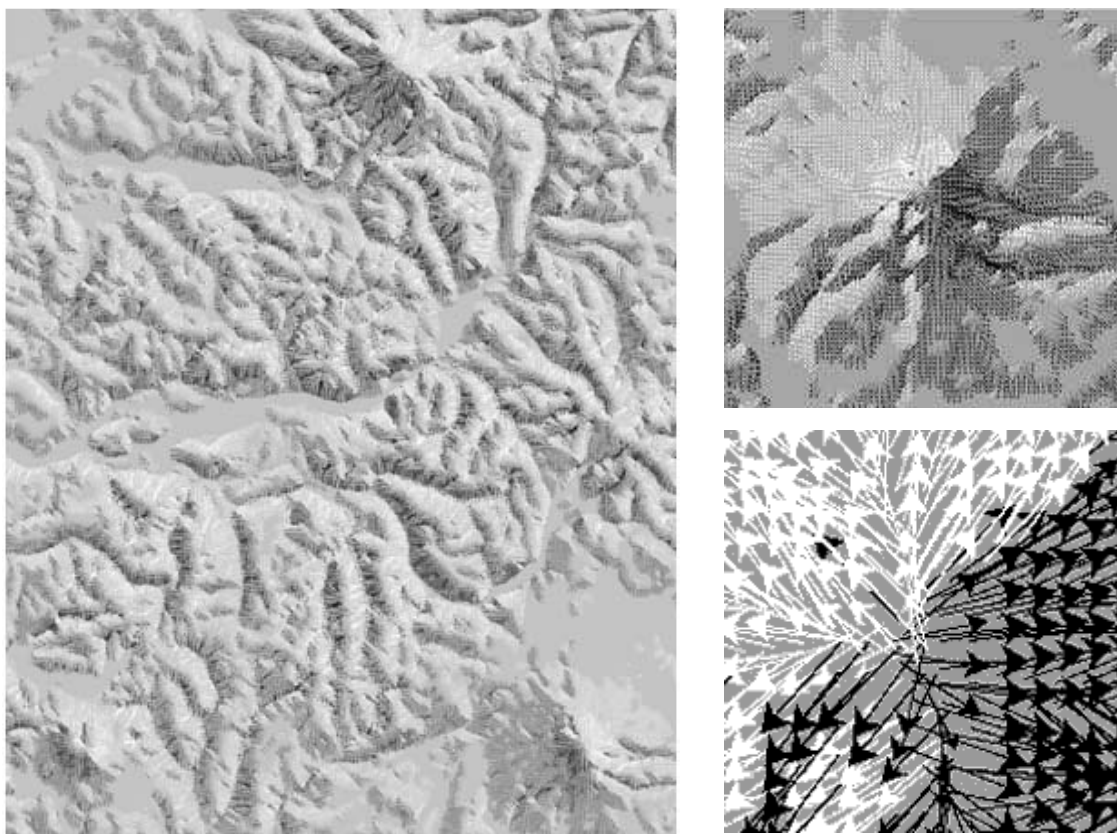
Pravděpodobně prvním, kdo se pokusil o nalezení algoritmu pro tvorbu šraf z digitálního modelu terénu, byl Yoëli (1985). Tento algoritmus dodržuje pravidla popsane Imhofem a může být využit pro tvorbu sklonu a stínových šraf. Vstupem jsou digitální vrstevnice s počátečními body šraf v daném intervalu podél vrstevnic. Výsledek tohoto algoritmu je velmi dobrý pro zobrazení topografie pro mapy velkého měřítka (Kennelly; Kimerling, 2000). Přesto toto řešení vyžaduje úpravu vrstevnic a jeho přesnost není srovnatelná s ruční tvorbou, jak je patrné z obrázku 17. Do algoritmu vstupují také linie údolnic a linie s nejednoznačnými místy, aby se zabránilo špatnému vykreslení šraf v těchto místech.





**Obr. 17 Šrafy vytvořené Yoeliho algoritmem (Zdroj: Slocum, 2005)**

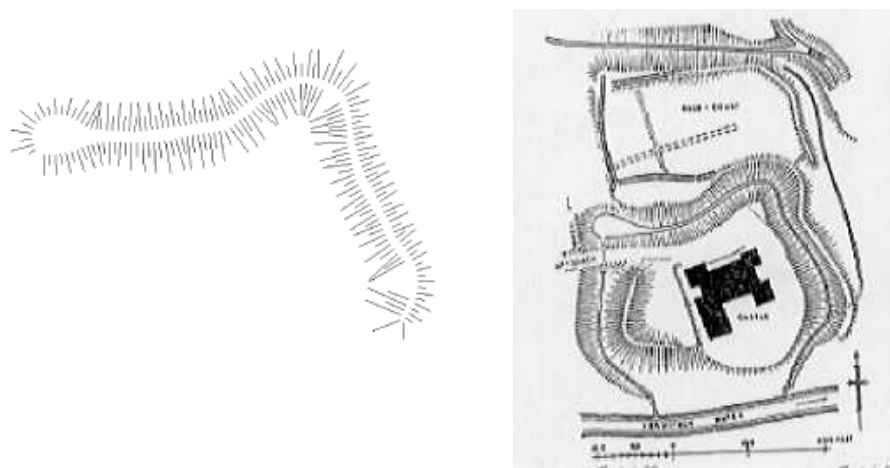
Další metoda, která byla navržena pro tvorbu stínových šraf, využívá softwaru ArcView od ESRI. Kennelly a Kimerling (2000) popisují ve svém článku vytvoření map stínových šraf malého měřítka, které jsou znázorněny pomocí šipek. V prvním kroku jsou z digitálního modelu terénu vytvořeny rastry sklonů a orientace. Ty jsou následně převedeny do vektorové podoby bodů a sloučeny do jedné vrstvy. Pomocí informace o orientaci jsou poté data rozdělena na osvětlené a zastíněné části reliéfu. Body osvětlené části jsou vykresleny jako bílé šipky, neosvětlené pak černě. Na závěr jsou všechny šipky nasměrovány dle orientace a je rozlišena jejich tloušťka dle informace o sklonitosti. Výsledná mapa se šrafami (obr. 18) dodržuje pravidla 1, 4 a 5. Šipky jsou kresleny ve směru orientace (pravidlo 1) s tloušťkou, která je funkcí sklonu (pravidlo 4). Ačkoli Kennelly a Kimerling nahradily tloušťky šraf a jejich mezer za bílé a černé šrafy na šedivém podkladu. A hustota šraf je konstantní, jelikož všechny body odvozené z digitálního modelu terénu jsou pravidelně rozmístěny (pravidlo 5). Tato metoda ignoruje pravidla 2 a 3, které předpokládají využití vrstevnic.



*Obr. 18 Metoda navržená Kennellym a Kimerlingem. 3 různé úrovně přiblížení.  
(Zdroj: Kennelly; Kimerling, 2000)*

Dále se problematikou šraf zabývali Adrienne O'Loughlin a Mackaness (1999) z Edinburghské univerzity, kteří vytvořili automatizovaný postup vytváření technických šraf, především pro účely archeologického mapování násypů a valů. Autoři započali s rozložením geometricky složitých polygonů na co nejjednodušší tvary. Pro vývoj algoritmu byly tedy použity dva jednoduché kruhy, které byly poté nahrazovány složitějšími tvary. Algoritmus je složen z 8 funkcí zabývajících se různými geometrickými a kartometrickými analýzami. První funkcí je nalezení bodu, kde se paprskovité linie protnou se spodní vrstevnicí. Tohoto je dosaženo prostým algoritmem pro nalezení průsečíku. Další funkcí je rozdělení horní vrstevnice na stejné intervaly. Funkce nalezení směru, kam se budou šrafy rozbíhat, vychází z předpokladu, že šrafy jsou kolmé na vstupní vrstevnici. Algoritmus vytváří opsanou kružnici, na které leží tři po sobě jdoucí body na vrstevnici. Ze středu kruhu pak vychází paprsek procházející prostředním bodem určující směr šrafy. Pokud tři po sobě jdoucí body leží na přímce, počítá se kolmice na tuto přímku. Následující funkce řeší případ, kdy paprsek vycházející z opsané kružnice protne vrstevnici na více místech. Jelikož se šrafy nesmí křížit, hledají se poté místa křížení šraf a tyto šrafy jsou následně vymazány. Pro určení směru spádu je další funkcí každá druhá šrafa zkrácena na polovinu. Poslední funkcí je snaha o doplnění šraf v prázdných místech vzniklých po vymazání, a to pomocí předchozí funkce k nalezení směru

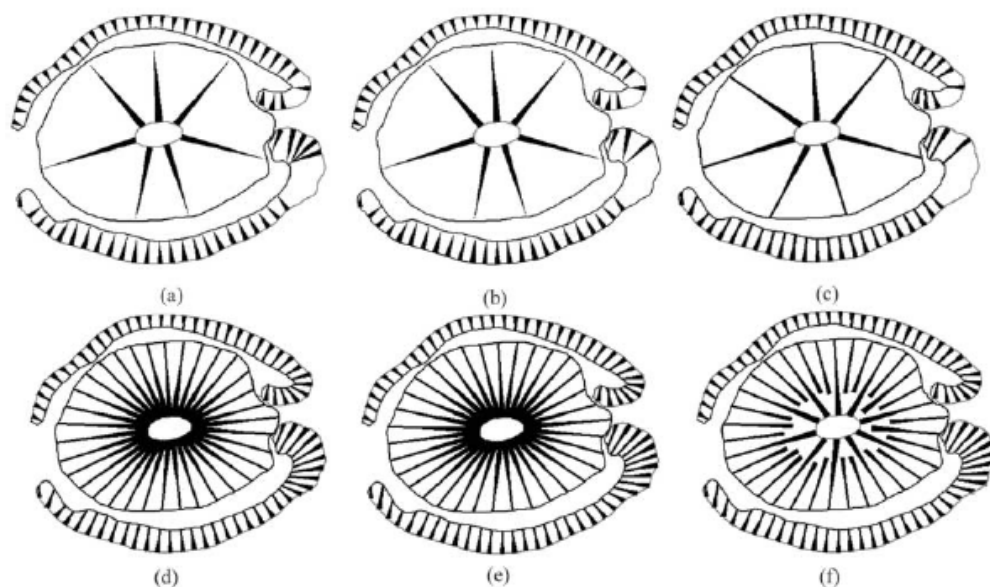
spádu. Zde se ale využívá dalších bodů okolo vybraných třech, které mohou změnit směr spádu. V případě, že se šrafa již nekříží s jinou, přidá se k ostatním šrafám, v opačném případě je vymazána. Tento algoritmus byl naprogramován v jazyku C a implementován do softwaru GenaMap GIS. Protože vstupní data obsahovala i neuzavřené linie, byla nutná předchozí příprava dat. Algoritmus může být považován za úspěšný pro zobrazení jednoduchých tvarů. Poskytuje stejné množství informací jako ruční zakreslování, postrádá ovšem estetičnost ruční tvorby, jak je možno vidět na obrázku 19 (Regnauld; Mackaness; Hart, 2001).



**Obr. 19 (a) Výsledek algoritmu automatizace tvorby šraf (O'Loughlin; Mackaness).  
(b) Ručně kreslená verze šraf. (Zdroj: O'Loughlin; Mackaness, 1999)**

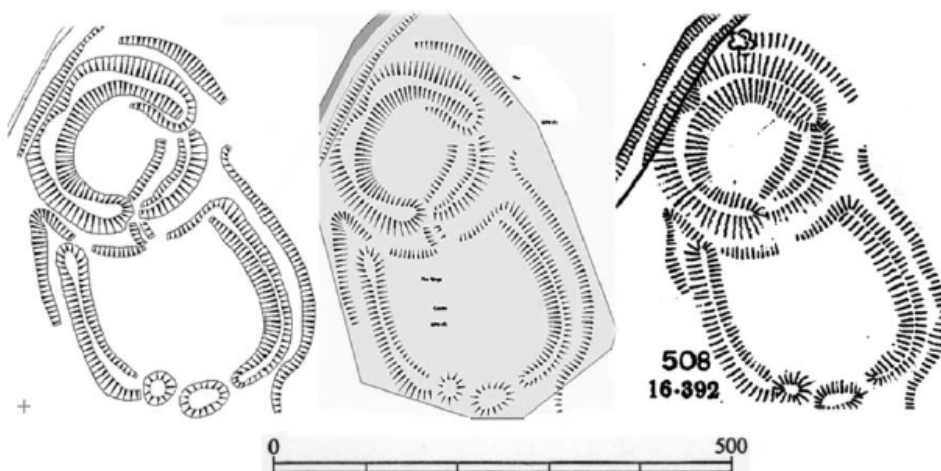
Na tento projekt poté navázal další výzkum, kde byl kladen důraz na zlepšení estetičnosti tvorby šraf a minimalizování potřeby interakce uživatele, na kterém pracovali Regnauld, Mackaness a Hart, 2001. Automatizace tvorby šraf může být shrnuta v sedmi úrovních (obr. 20). První fáze zahrnuje přípravu vstupních dat. Vstupními daty jsou horní a dolní hrana svahu a v tomto kroku se vyberou linie tvořící horní a dolní hranu příslušného násepu. Následně se přidělí hodnoty vstupním parametrům. Tímto parametrem je krok určující ideální rozestup šraf podél svahu, minimální rozestup mezi dvěma následujícími šrafami a délka základny trojúhelníku ležící na horní hraně svahu. Ve třetím kroku se generují počáteční šrafy. Prochází se horní hranou svahu a v pravidelných intervalech se vykreslují šrafy tak, aby byly kolmé na horní hranu a končily na spodní hraně svahu. Následující kroky se poté snaží o vylepšení výsledku. Problém křížení šraf je řešen tak, že sloučí každé dvě křížící se šrafy a vypočte z nich jednu průměrnou. Jelikož se šrafy vytvářejí nezávisle na ostatních, výsledek nevypadá dobře. Z tohoto důvodu je orientace každé šrafy přepočtena na základě šraf sousedních a tím zmenšeny rozdíly orientací mezi šrafami. V důsledku předchozího slučování šraf, případně na dolní hraně násepu v místech většího ohybu, vznikají mezery, které je potřeba zaplnit. Jako mezera je identifikováno každé místo, které je 1,5 násobkem parametru kroku šraf. V další části algoritmu je řešeno vyrovnávání mezer mezi šrafami, které vznikají nedostatečnou pravidelností vytvořených šraf vyplňujících mezery. Řešením tohoto problému je umístění šrafy doprostřed

mezi její sousední šrafy. A na závěr je nutné zkrácení šraf v místech přílišné blízkosti na konkávních stranách záhybů mezi šrafami. Šrafy jsou zkráceny, tak aby mezi sebou měly příslušnou minimální vzdálenost.



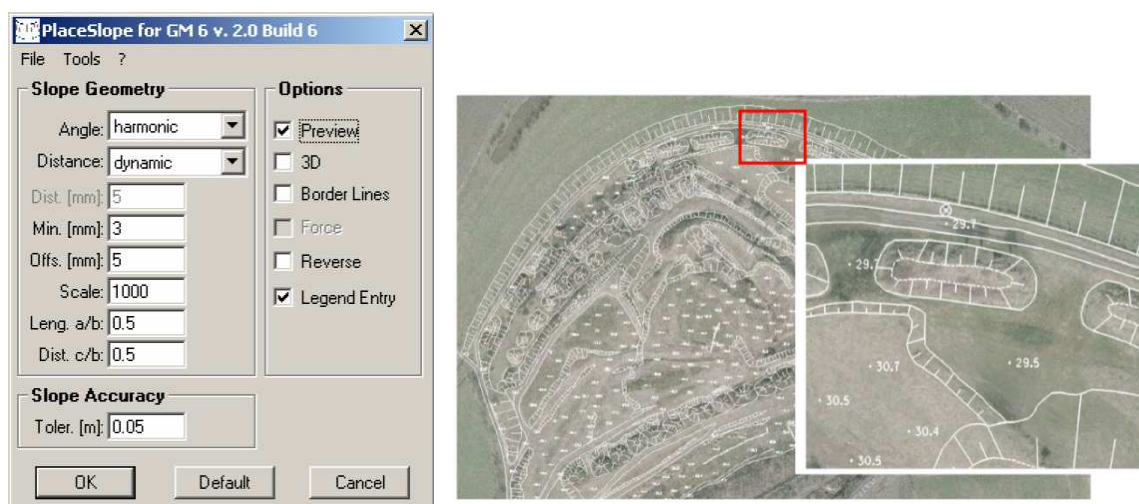
Obr. 20 Výstupy dílčích kroků algoritmu (Zdroj: Regnauld; Mackaness; Hart, 2001)

Hlavním zlepšením této metody je automatické nastavení parametrů dle rozsahu sklonů a určeného měřítka vykreslení (Regnauld; Mackaness; Hart, 2001). Tento algoritmus produkuje velmi dobré výsledky srovnatelné s ruční tvorbou šraf (obr. 21) Jen v několika málo případech může způsobovat problémy.



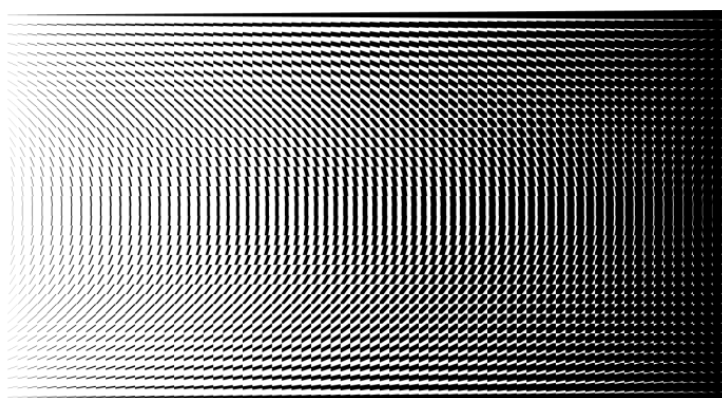
Obr. 21 (a) Výsledek automatizace s vrstevnicemi, (b) Výsledek automatizace (c) Ručně tvořené šrafy (Zdroj: Regnauld; Mackaness; Hart, 2001)

Společností Hansa Luftbild byl vyvinut algoritmus pro vytváření především technických šraf pro programy GeoMedia Professional a Microstation. *PlaceSlope* je charakterizován jako flexibilní a uživatelsky přívětivý nástroj. Umožňuje různé nastavení parametrů jako je podíl delších a kratších čárek, podíl mezi intervalem čárek a délkou, nastavení výchozího měřítka, nastavení minimálních mezer mezi šrafami, nastavení úhlu mezi šrafou a horní hranou atd. (obr. 22).



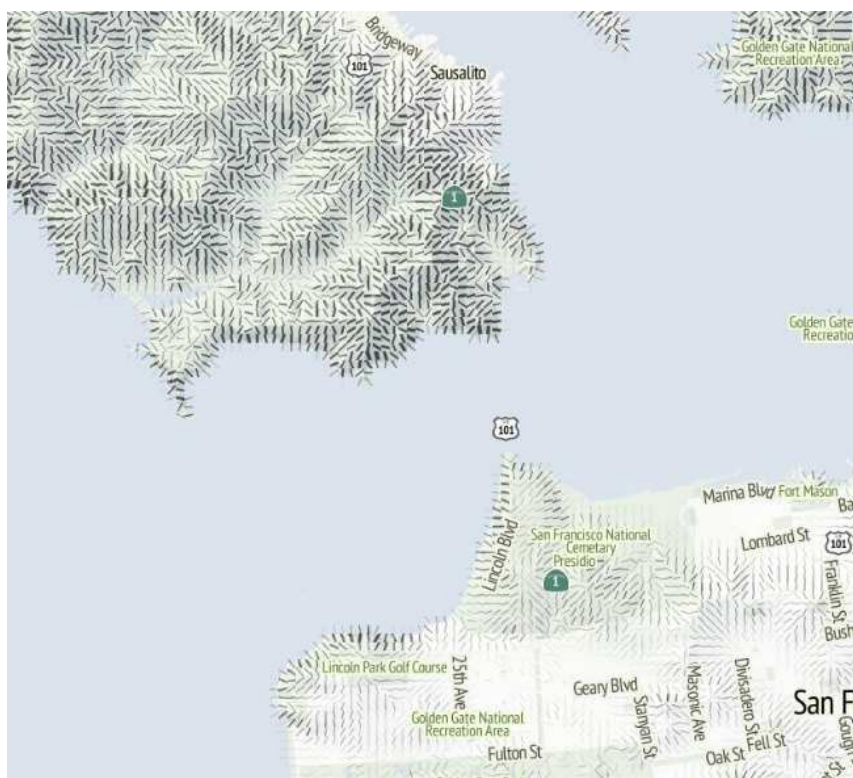
Obr. 22 Výstup z aplikace PlaceSlope (Zdroj: <http://www.hansaluftbild.de>)

Na internetových fórech zabývajících se geoinformatikou byly také nalezeny diskuze zabývající se problematikou, jak vytvořit šrafy v digitální kartografii automatizovaně. Za zmínění stojí například pokus Michala Migurskiho (obr. 24). Šrafy tvoří pomocí vzoru, založeným na pravidelně rozdělené mřížce, který má v sobě zakódovaný sklon a orientaci (obr. 23).



Obr. 23 Vzor pomocí, kterého jsou znázorňovány šrafy  
(Zdroj: <http://mike.teczno.com/notes/hachures.html>)





**Obr. 24 Šrafy vytvořené Migurskim**  
(Zdroj: <http://mike.teczno.com/notes/hachures.html>)

Nicméně kromě metody Kennellyho a Kimerlinga, která může být aplikována v software ArcGIS, nebyla nalezena žádná studie, která by poskytovala algoritmus pro tvorbu šraf či dostupný nástroj, kterým by bylo možno šrafy vygenerovat. Nebyla nyní nalezena žádná možnost, jak vytvořit sklonové nebo stínové šrafy dle Imhofových pravidel automaticky. Ačkoli je automatizace šraf dobře definovaným problémem, je to velmi geometricky náročné na vymodelování.

## KAPITOLA 4

### Metodika pro tvorbu sklonových / stínových šraf v digitální kartografii

#### 4.1 Úvod

V této kapitole je popsán návrh vlastní metodiky vhodné pro tvorbu stínových šraf. Práce se pokouší o nalezení vhodného algoritmu, který by generoval tyto šrafy dle tradičních kartografických pravidel popsaných v kapitole 2. Snahou, je co nejmenší lidský interaktivní zásah do tohoto procesu s co nejlepším výstupem přibližující se ručnímu kreslení šraf. Přesto je ale zásah v průběhu umožněn pro dosažení lepších výsledků.

Pro tuto práci byly vybrány stínové šrafy, které jak již bylo řečeno, působí mnohem prostorovějším dojmem než šrafy sklonové. Metodika je ale aplikovatelná i na šrafy sklonové s výjimkou posledního kroku, který šrafům přiřazuje příslušnou tloušťku.

#### 4.2 Postup pro automatizaci tvorby šraf

Postup pro automatizaci tvorby šraf v digitální kartografii může být rozdělen do několika kroků. Každý z těchto kroků je pak dále podrobněji rozepsán jako samostatná podkapitola., která obsahuje v úvodu nejdříve stručný popis dané fáze. Obecný postup zahrnuje následující kroky:

- Příprava vstupních dat a určení parametrů
- Vykreslení iniciálních šraf
- Doplnění iniciálních šraf
- Zkrácení šraf v místech slévání šraf
- Doplnění šraf v místech velké mezery mezi šrafami
- Výpočet tloušťky šraf

V první řadě bylo nutné definovat výstupní měřítko mapy, které určuje míru podrobnosti zachycení terénu šrafami. Na měřítku pak závisejí vstupní data i parametry. Čím je měřítko mapy větší, tím by měl být interval mezi vrstevnicemi menší, tak aby byly získány přesnější informace o reliéfu a šrafy vytvořené mezi nimi dosahovaly požadované délky. Pro účely dalšího textu v tuto chvíli předpokládáme, že máme měřítko pevně zvolené a všechny další kroky jsou prováděny v závislosti na něm.

### 4.2.1 Příprava vstupních dat a určení parametru

V první fázi metodiky jsou zmíněna potřebná vstupní data, jejich příprava pro další fáze a zvolení vstupních parametrů. Vstupem do algoritmu je digitální model terénu, ze kterého se vygenerují vrstevnice. V závislosti na zvoleném měřítku bylo třeba určit interval vrstevnic. Od tohoto intervalu a sklonu reliéfu se poté odvíjí délky šraf. Z digitálního modelu terénu byly vytvořeny vrstevnice zvoleného intervalu, nazývané dále základní, a vrstevnice polovičního intervalu, které budou vrstevnicemi doplňkovými. Klíčové bylo také určení rozestupu šraf. Je třeba počítat s rozdílnou tloušťkou šraf podle osvětlení a vypočítat tuto vzdálenost dle požadované minimální vzdálenosti mezi šrafi.

Pro vytvoření mapy se šrafováním je základním vstupem digitální model terénu, ze kterého se získají všechna ostatní potřebná data. Je doporučeno použít rastr, který je o něco větší, než je požadované území, kde se mají šrafi generovat, tak aby se předešlo chybám na okrajích území v dalších fázích postupu. Rozlišení rastru by mělo být nastaveno v závislosti na daném měřítku, tak aby se z něj daly získat dostatečné přesné informace, ale ne zase příliš, malá generalizace je vhodná. Území pro užití metody šrafování by mělo být spíše kopcovité, šrafi se v rovinatých oblastech neuvádějí, z tohoto důvodu algoritmus není navržen pro tyto oblasti. Dalším vstupem je hranice tohoto požadovaného území. Tento shapefile je vstupem z důvodu, aby se daly později vytvářet polygony potřebné pro různé analýzy. Posledními vstupními daty jsou vrstevnice základní a doplňkové, které se získají z DMT pomocí funkce *Contour*. Nejdříve je ale potřeba vypočítat interval vrstevnic.

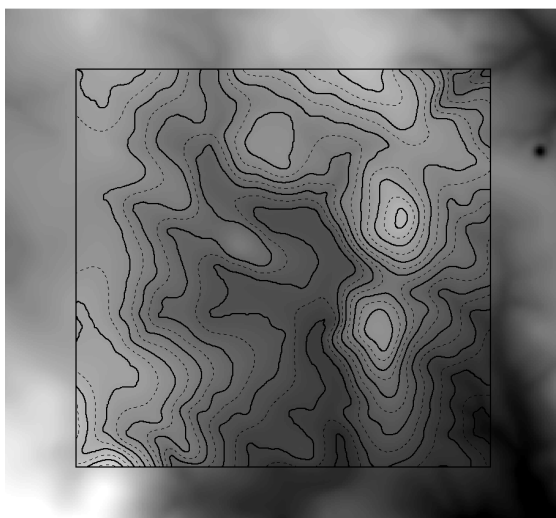
Interval vrstevnic se odvíjí od stanoveného měřítka, maximálního sklonu terénu daného území a požadované minimální délky šrafi. Měřítko je již stanovené, je tedy potřeba zjistit maximální sklon terénu a určit minimální délku šraf. V geoinformačních systémech není problém vytvořit mapu sklonitostí nad digitálním modelem terénu a zjistit tak nejvyšší hodnotu sklonu daného území. Zbývá tedy určení požadované délky šraf. Dle Imhofa (2007) by měla být délka šrafi alespoň 0,2, spíše 0,3 mm. Nicméně tato hodnota může být uživatelem zvolena dle uvážení.

Vztah mezi délkou šrafi  $l$ , intervalem vrstevnic  $k$  a úhlem sklonu  $\alpha$  je vyjádřen v následujícím vzorci.

$$l = k * \cotg \alpha$$

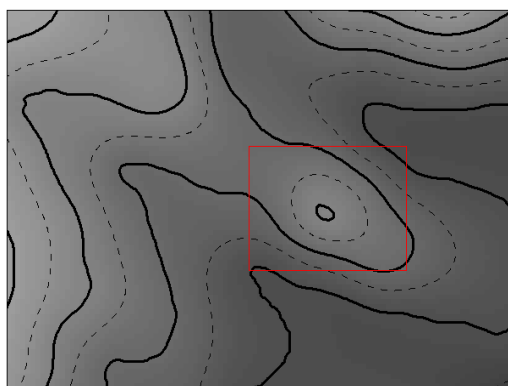
Výsledek vypočteného intervalu vrstevnic je ideální pro určení konečného intervalu vrstevnic, na základě kterého již mohou být vygenerovány vrstevnice z digitálního modelu terénu. Vrstevnice je také dobré trochu vyhladit a zbavit nepodstatných zakřivení, tak aby měly jednodušší průběh.





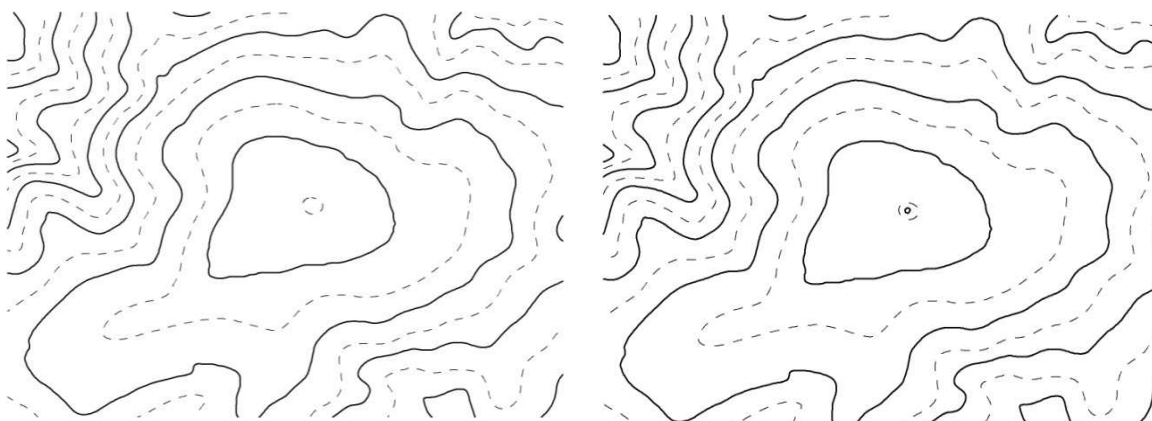
**Obr. 25 Vstupní data: vrstevnice hlavní, vrstevnice vedlejší, DMT, hranice území (Zdroj: autor)**

Jednou z věcí, které metodika neřeší je případ, kdy se vytváří vrstevnice s místním lokálním maximem, jak je zobrazeno na obrázku 26. Je proto nutné tyto vrstevnice z dat vymazat. V případě, že jsou potřeba některé vrstevnice vymazat, je doporučeno DMT přegenerovat, tak aby to nemělo v pozdější fázi vliv na určování spádu.



**Obr. 26 Vrstevnice s lokálním maximem (Zdroj: autor)**

Problém také nastává na vrcholech, kde se jako nejvyšší vrstevnice zobrazí vrstevnice doplňkové. Ty jsou potřeba z dat také vymazat nebo naopak doplnit vrstevnicí základní (obr. 27).



**Obr. 27 (a) Nejvyšší vrstevnice je vrstevnicí doplňkovou, (b) Doplněná základní vrstevnice (Zdroj: autor)**

Na závěr se přiřadí všem vstupním datům požadovaný souřadnicový systém a data jsou připravena pro nadcházející metodiku.

Dalším krokem této fáze je určení několika parametrů. V první řadě je to rozestup šraf. Je třeba stanovit, jaký by měl být počet šraf na 1 cm. Počet šraf by se měl odvíjet od měřítka mapy, tak jak je popsáno u 5. pravidla pro určení hustoty šraf v kapitole 2. Počet šraf na centimetr pak určuje, jakou šířku bude šrafa zabírat spolu i s mezerou. Tato šířka musí být na celé mapě konstantní. Je třeba mít na paměti, že tloušťka šrafy se bude měnit v závislosti na osvětlení terénu, kde se nachází, podle počtu intervalů, které se stanoví, a stále zde musí být dostatečná mezera, tak aby nedocházelo k optickému slití šraf. Je tedy vhodné i určení nejmenší tloušťky šrafy, největší tloušťky a minimální vzdálenosti mezery mezi šrafami. Tyto všechny hodnoty hrají svou roli v určování výsledného rozestupu šraf. Pokud by se vycházelo ze starých map stejného měřítka, u kterých je určen počet šraf na centimetr, dalo by se určit, jakou šířku může šrafa s mezerou zabírat. Např. na topografické mapě Pruska bylo pro měřítko 1:25 000 20 šraf na centimetr. Nicméně, jak zmiňuje Imhof (2007), podle teorie kterou stanovil Lehmann, v případě 20 šraf na centimetr a 9 různých tloušťek šraf podle sklonů, připadá na jednu sklonovou šrafu 0,05 mm včetně případné mezery, což je velmi malá hodnota, obzvláště u dnešních tiskáren není reálný tisk takto jemných šraf. Je možné také vyjít z určení nejmenší tloušťky čáry. Přičemž minimální tloušťka čáry je klíčovým limitujícím faktorem a jeho hodnoty závisí na barvě linie. Černé linie jsou rozeznatelné již od 0,02 – 0,03 mm, ale pro běžné čtení se tato hranice posunuje až k 0,07 – 0,08 mm. Barevné linie jsou obecně hůře rozeznatelné, protože jsou méně výrazné, a tloušťka by neměla klesnout pod 0,1 mm. Tenké rovnoběžné linie jsou rozeznatelné, pokud je mezera mezi nimi větší než 0,15 – 0,20 mm, u širších linií může být tato vzdálenost poněkud menší (Veverka, 2004). Na základě všech těchto hodnot je možné přibližné stanovení rozestupu šraf. Hodnota by měla být ještě o něco navýšena, jelikož se šrafy v obloucích k sobě přibližují. Na závěr je nutné převést hodnotu podle daného měřítka na metry.

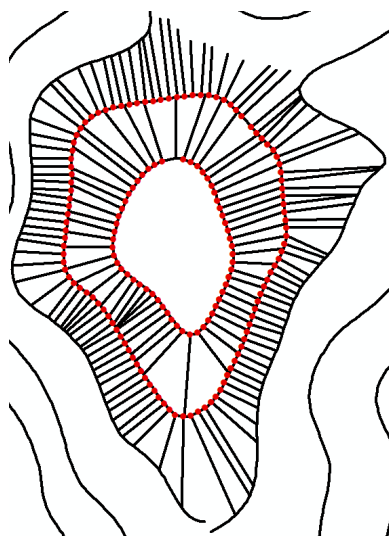
Dalšími parametry, které algoritmus požaduje, jsou: interval rozestupu iniciálních šraf, délka spádu, velikost okolí ze, kterého se počítá směr největšího spádu, velikosti první a druhé

zóny kolem aproximovaných údolnic, minimální vzdálenost mezi šrafami, maximální vzdálenost mezi šrafami, faktor určující rozmístění polygonů do skupin tak, aby se neležely v blízkosti ostatních, počet iterací, ve kterých se šrafy generují. Všechny tyto parametry budou popsány dále u příslušné fáze, která je vyžaduje.

#### 4.2.2 Vykreslení iniciálních šraf

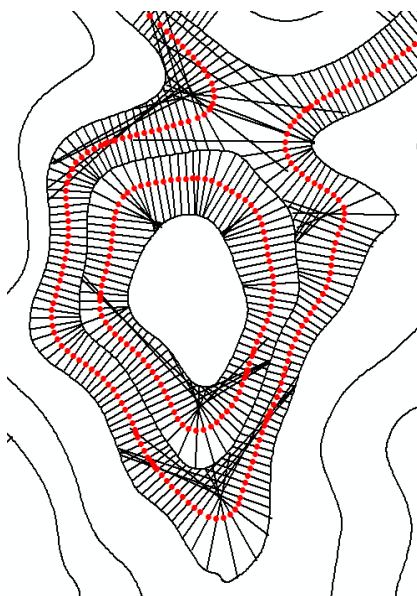
Tato fáze obsahuje vykreslení prvních šraf. Procházejí se postupně vrstevnice doplňkové a v pravidelném intervalu se vytváří bod, ze kterého je poté vykreslena šrafa, tak aby kopírovala směr největšího spádu. Doplňkové vrstevnice jsou použity z důvodu lepšího zachování stejné hustoty šraf a tím i lepšího výsledku. Interval rozestupu šraf je nyní zvolen několikanásobně větší, než je rozstup požadovaný mezi šrafami proto, aby bylo omezeno křížení šraf.

Počátkem této fáze bylo nalezení principu, jakým se budou šrafy vytvářet. Základem je určení, kde se mají šrafy vykreslovat. Aby bylo docíleno stejné hustoty šraf na celé mapě, bylo třeba rozmístit šrafy, tak aby měly stejný rozstup mezi sebou. Tohoto bylo docíleno pomocí vytvoření nové bodové vrstvy na vrstevnici v pravidelném intervalu. Interval je vstupním parametrem, který je už z předchozí fáze stanoven. Nejříve bylo testováno vykreslování šraf, tak jak zmiňuje ve své studii Regnauld, Mackaness, Hart (2001), tedy procházení horní vrstevnice v pravidelných intervalech a vytvoření šrafy, tak aby svírala kolmici k horní vrstevnici a směřovala k vrstevnici dolní. Jak je patrné z obrázku 28, výsledek se neukázal být příliš dobrý. Vyskytují se velké rozdíly mezi rozstupem šraf u horní vrstevnice a vrstevnice dolní a celkový obraz nepůsobí dojmem pravidelného rozmístění šraf.



**Obr. 28 Šrafy vytvořené pomocí kolmic z horní vrstevnice (Zdroj: autor)**

Z tohoto důvodu bylo přistoupeno na proložení vrstevnice doplňkové, ze které bude vycházet kolmice směrem k horní vrstevnici a dolů k vrstevnici dolní. Přestože dochází k mnoha křížením, bylo dosaženo rovnoměrnějšího rozmístění šraf (obr. 29) a tak se zůstalo u principu užití doplňkové vrstevnice.

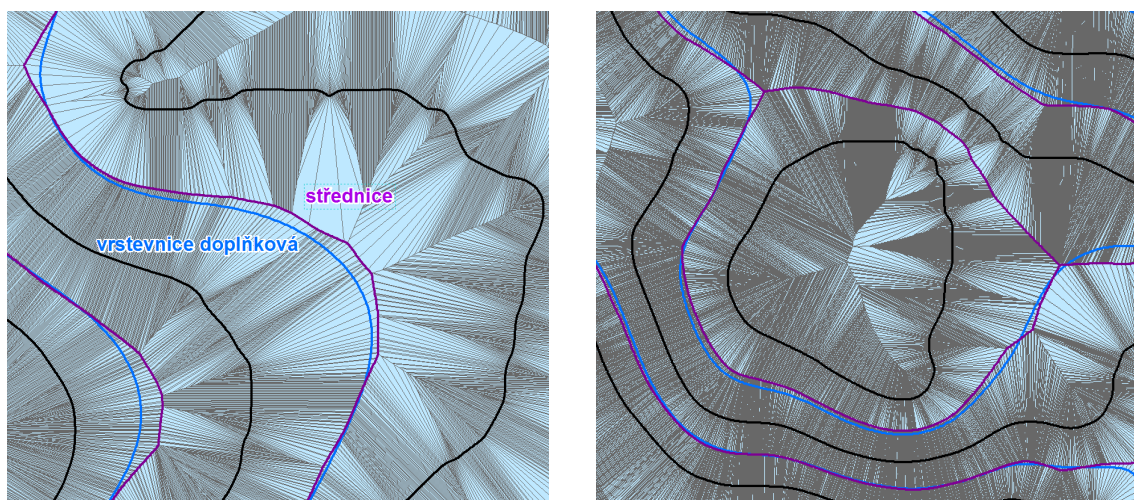


**Obr. 29 Šrafy vytvořené pomocí kolmic z vrstevnice doplňkové (Zdroj: autor)**

Alternativou k doplňkové vrstevnici by mohla být střednice. Střednicí se rozumí vykreslení vrstevnice pomocí aproximace medial axis s využitím Thiessenových polygonů.

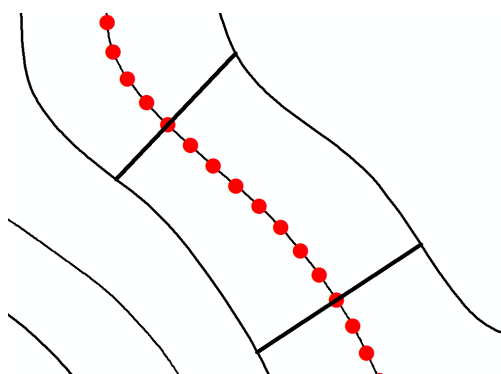
Medial axis je tzv. střední osa. Medial axis je definovaná jako množina středů kružnic, které leží uvnitř plochy a dotýkají se nejméně dvou různých hran obvodového polygonu (Soukup; Votoček, 2003). Střední osu je možné najít, resp. její aproximaci, pomocí Voroného diagramu. Medial axis tvoří ta část Voroného diagramu, která je uvnitř polygonu kromě hranic mezi Voroného buňkami určenými nekonvexními vrcholy a přilehlými úsečkami hranice polygonu. K získání dobrých výsledků je potřeba zvolit dostatečně husté vzorkování (Jurkas, 2009).

Mezi dvě vrstevnice se tedy tímto způsobem vytvoří vrstevnice nová. Rozdíl mezi doplňkovou vrstevnicí a střednicí typicky není moc velký. Nicméně varianta s doplňkovou vrstevnicí je lepší z hlediska zachycení tvaru terénu. Střednicí může dojít ke shlazení terénu a může tak mít vliv na změnu charakteru území. Rozdíl mezi doplňkovou vrstevnicí a střednicí je znázorněn na obrázku 30(a). Na druhou stranu v určitých případech by mohla střednice pomoci při řešení tvorby šraf v oblasti sedel a lokálních maxim (obr. 30(b)). Toto by bylo třeba ještě otestovat.



**Obr. 30 (a) Vrstevnice doplňková vs. střednice, (b) Střednice v oblasti lokálního maxima (Zdroj: autor)**

Následně bylo třeba vyřešit křížení šraf. Jako nejúspěšnější se prokázalo být vykreslení nejdříve šraf tzv. iniciálních, jejichž rozestup je několikanásobně větší než rozestup požadovaný. Vykreslí se tedy vždy jen šrafa stanoveného násobku požadovaného rozestupu (obr. 31) a díky prostoru, který mezi iniciálními šrafami vznikne, by mělo dojít ke značnému zredukování křížení šraf. Mezi tyto iniciální šrafy se poté v následující fázi doplní šrafy další. Hodnotu intervalu je třeba určit na základě požadovaného výsledného rozestupu šraf a křivosti vrstevnic daného území. Snahou je, aby se zárodečné šrafy nekřížily. Na druhou stranu nesmí být interval ale moc velký, aby nedocházelo k přílišnému zkreslení šraf. Je také třeba vzít v potaz, že mezi dvěma iniciálními šrafami, se poté může vytvořit vždy jen počet šraf, které se pohybují na číselné řadě  $2^{(n-1)} + a_{(n-1)}$ , kde  $a_n$  je n-tým členem posloupnosti,  $n \in \mathbb{N}$  a  $a_1 = 1$ , což je dáno principem doplňování šraf popsaného v následující fázi algoritmu.

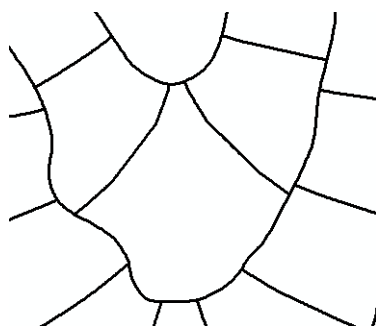


**Obr. 31 Iniciální šrafy (Zdroj: autor)**

Avšak ani díky tomuto nebyl zaručen dobrý výsledek, především v místech s velkou křivostí vrstevnic. Užití kolmic ne vždy splňuje podmínku dodržení směru největšího spádu a působí

v určitých případech nepřirozeně. Z těchto důvodů bylo přistoupeno na tvoření iniciálních šraf pomocí směru největšího spádu s užitím DMT, metodiky publikované Lysákem (2010).

Užití směru největšího spádu se zadanou délkou úseků šraf je dosaženo obecně zakřivených čar a tím i dosažení přirozenějšího a uhlazenějšího vzhledu šraf a ke křížení šraf dochází jen v ojedinělých případech (obr. 32). Proto byly kolmice v metodice nahrazeny výpočtem směru největšího spádu dané šrafy.



**Obr. 32** *Iniciální šrafy jsou tvořeny pomocí směru největšího spádu (Zdroj: autor)*

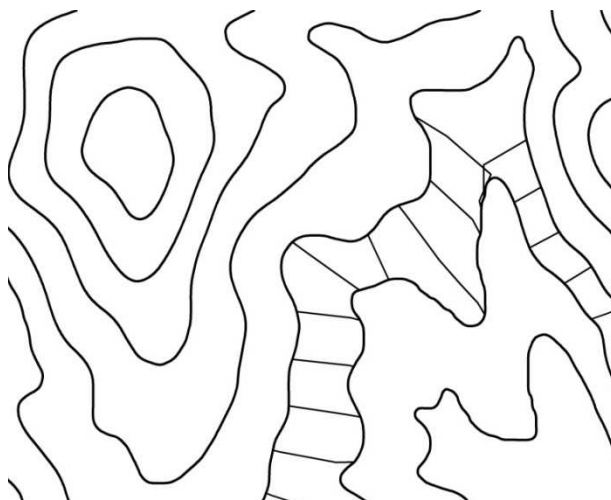
V této fázi se tedy procházejí postupně doplňkové vrstevnice, na nichž se vytvářejí body ve stanoveném pravidelném intervalu. V důsledku oříznutí vrstevnic hranicí území může dojít k rozdělení vrstevnic na více částí, které jsou ale stále zapsány jako jedna vrstevnice. Proto byly vrstevnice odděleny s využitím funkce *Multipart to SinglePart*. Jakmile jsou vrstevnice připraveny, vybere se příslušná vrstevnice, které se pročítá geometrie, a ve stanoveném intervalu se podél vrstevnice vytvářejí body. Z těchto bodů je nyní třeba vypočítat jejich směr největšího spádu, který bude definovat šrafy.

Pro určení směru největšího spádu je klíčový digitální model terénu. Dalším parametrem vstupujícím do algoritmu je velikost okolí, ze kterého se bude spádový vektor počítat. Je opět třeba zohlednit měřítko a území. Velikost okolí značně ovlivňuje směr největšího spádu spolu s rozlišením DMT. Velikost okolí ale nemůže být větší, než je vzdálenost přesahu DMT přes hranice zvoleného území pro tvorbu šraf. Pro každý bod se vytvoří čtyři nové body ve vzdálenosti závislé na velikosti okolí. U vytvořených bodů je poté odečtena výška z rastru a interpolací určena souřadnice, která určuje směr největšího spádu. Protože se šrafy vykreslují z doplňkové vrstevnice, musí se určit nejen směr k dolní vrstevnici, ale i obráceně k vrstevnici horní, a odečíst výšky i ve stoupajícím směru. Z vypočtené souřadnice určující směr spádu, respektive stoupání, je vypočítán vektor určující směr spádu, který je poté normalizován, aby měl jednotkovou délku a mohly být tvořeny úseky šraf stejné délky.

Délka je dalším parametrem, který je potřeba stanovit. Čím je délka kratší, tím je směr šrafy přesnější v závislosti na okolí, přes které se počítá směr spádu, a šrafa lépe kopíruje směr spádové křivky. Nevznikají tak velké zlomy mezi úsečkami příslušné šrafy a šrafy se kříží jen minimálně. Nicméně výpočet směru spádu je značně časově náročný, je proto vhodné nastavit

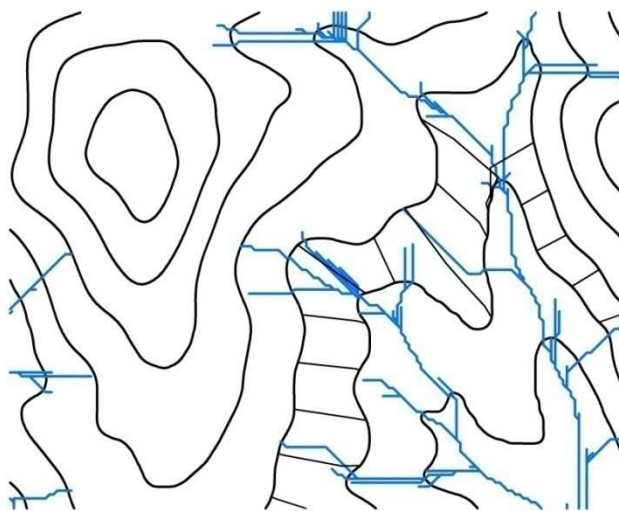


délku šrafy co možná nejdelší. Největší problémy tvoří šrafy svažující se do údolí (obr. 33), kde dochází ke křížení šraf, v důsledku velké změny směru spádu a příliš dlouhých úseků šraf.



**Obr. 33 Křížení iniciálních vrstevnic v údolí (Zdroj: autor)**

Pro částečné vyřešení těchto situací byla na základě rastru nalezena území, která aproximují údolnice (obr. 34) a v závislosti na vzdálenosti úseku šrafy od nalezených zón mu byla přidělena délka. Tímto způsobem, úseky šraf v blízkosti údolnic, získají délku kratší než je délka stanovená pro celé území a jsou schopny lépe kopírovat směr spádu.

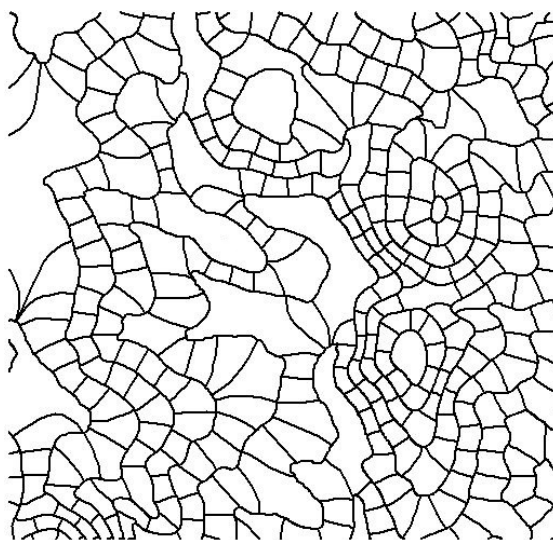


**Obr. 34 Aproximace údolnic (Zdroj: autor)**

Pro určení vzdálenosti úseků šraf od údolnic byly okolo nich vytvořeny dva buffery v různých vzdálenostech, tak aby došlo k plynulejším přechodům. Velikosti zón je třeba stanovit v závislosti na měřítku mapy, zóny by neměly být příliš velké, tak aby zbytečně nezpomalovaly proces, nicméně musejí být takové velikosti, aby měly vliv na úpravu délek. Každé zóně je pak přidělena hodnota délky pro daný úsek šrafy. Délky úseků šraf v těchto

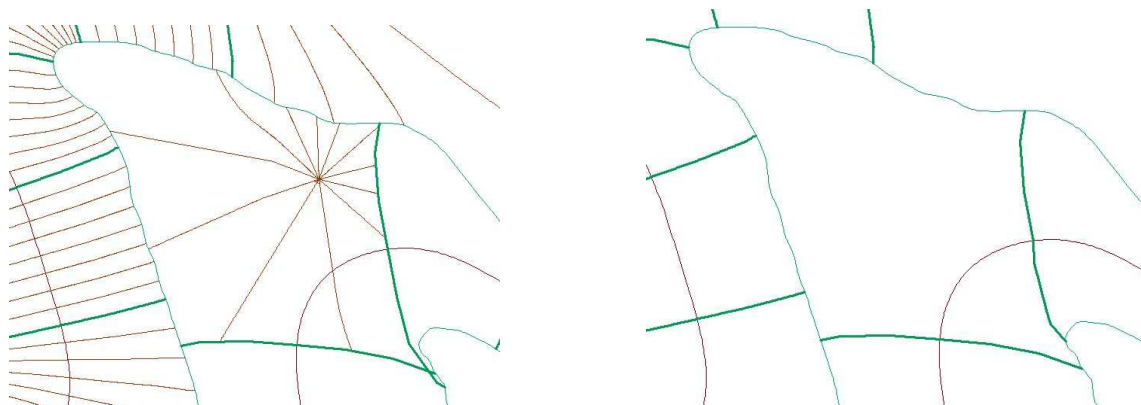
zónách jsou vypočítány ze základní délky úseků šraf, kdy každá zóna má o polovinu menší délku pro úseky šraf než zóna předchozí. Nicméně tyto hodnoty mohou být upravovány dle potřeby.

Po získání parametrů je už možno vygenerovat první úseky šraf. V následné etapě je potřeba zjistit zdali šrafa dosáhla horní a dolní vrstevnice. V případě, že ano, šrafa je již celá, v opačném případě se opakuje předchozí proces znovu k vykreslení dalšího úseku šrafy. Takto jsou vybírány všechny šrafy nedosahující obou vrstevnic a tvorby nových úseků v cyklu, dokud existuje šrafa, která tuto podmínku nesplňuje. Výsledek vystupující z této fáze algoritmu je zobrazen na obrázku 35.



**Obr. 35** Iniciální šrafy s podkadem vrstevnic (Zdroj: autor)

Na určitých místech může dojít také k chybně vytvořeným iniciálním šrafám, což pak vede k chybnému vytvoření šraf ostatních, jak je možno vidět na obrázku 36. Proto je po této fázi algoritmu možný ruční zásah a oprava iniciálních šraf, tak aby nikde nedocházelo ke křížení šraf a vedly od vrstevnice horní k vrstevnici dolní.



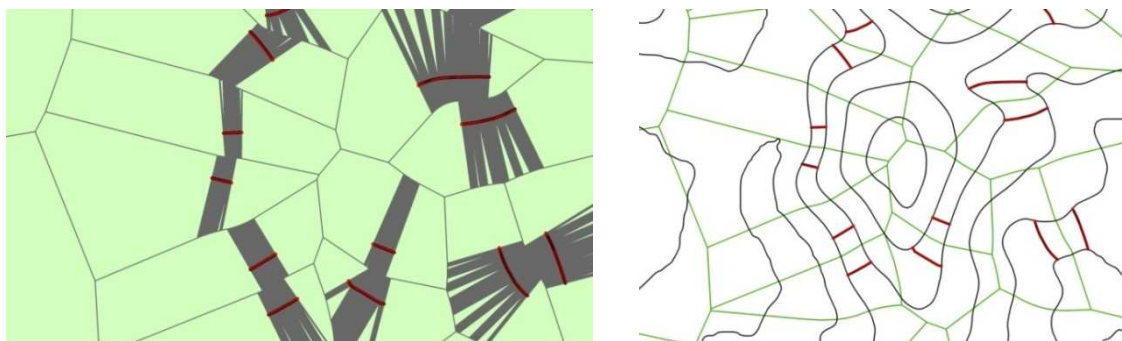
**Obr. 36** (a) Chybně vytvořené iniciální šrafy a jejich vliv na šrafy ostatní. (b) Opravené iniciální šrafy. (Zdroj: autor)



### 4.2.3 Doplnění iniciálních šraf

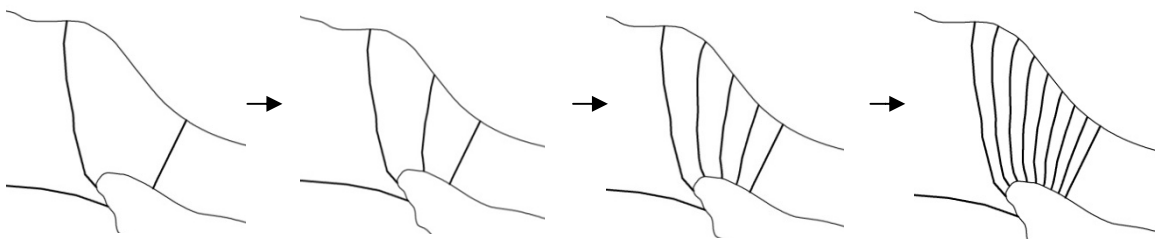
Šrafy vykreslené předchozím krokem se v cyklu doplňují do požadovaného rozestupu šraf tak, že se vždy vytváří průměrná šrafa mezi dvěma sousedními pomocí aproximace medial axis s využitím Thiessenových polygonů. Tímto krokem se omezí křížení šraf a vytvoří se lepší estetický dojem díky tomu, že blízké šrafy jsou si podobné, změny jsou tak plynulejší. Nevýhodou tohoto principu je časová náročnost.

V této etapě se iniciální šrafy doplní o požadovaný počet nových šraf. Počet šraf, které se mají vykreslit mezi šrafy iniciální, by již měl být známý z výpočtu požadovaného výsledného rozestupu šraf, který byl poté vynásoben určitou hodnotou pro vytvoření iniciálních šraf. Proto je možné přejít k tvorbě šraf. Princip je takový, že mezi každé dvě šrafy se vytvoří šrafa nová jako tzv. medial axis s využitím Thiessenových polygonů (obr. 37)



Obr. 37 Princip užití Thiessenových polygonů pro vytvoření medial axis (Zdroj: autor)

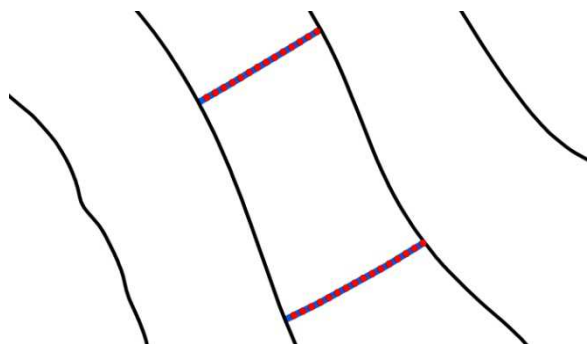
Vytváření šraf probíhá v cyklu. V  $k$ -té iteraci se vytvoří  $2^{k-1}$  šraf, které se poté spojí se vstupními šrafy a ty jdou do další iterace. Takto se vytvářejí až do požadovaného počtu iterací (obr. 38).



Obr. 38 Princip doplňování šraf (Zdroj: autor)

Pro vygenerování nové šrafy je vždy nutné vybrat dvojici šraf, mezi které se mají další šrafy doplňovat. Aby bylo dosaženo co nejlepšího vykreslení střední šrafy, bylo nutné vstupní šrafy zahustit pomocí *Densify*, aby se skládaly z více vertexů (obr. 39). Pro dobrý výsledek je potřeba zahustit linie po velmi krátkých úsecích. V opačném případě mohou mít linie špatný či

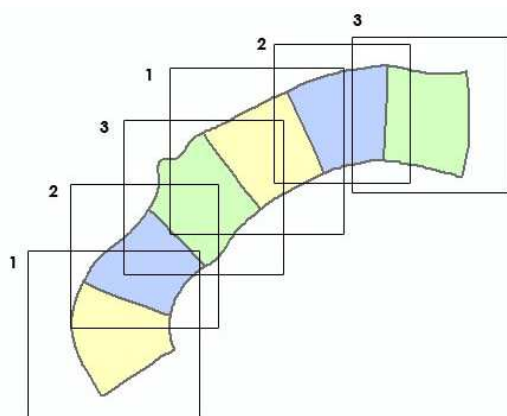
kostrbatý průběh. Vertexy se převedou na body, které pak mohou vstoupit do funkce, která tvoří Thiessenovy polygony. Vytvořené polygony jsou poté sloučeny na základě identifikátoru vstupních šraf a převedeny na linie. Na závěr jsou pak oříznuté podle polygonu vytvořeného ze vstupních šraf a horní a dolní vrstevnice.



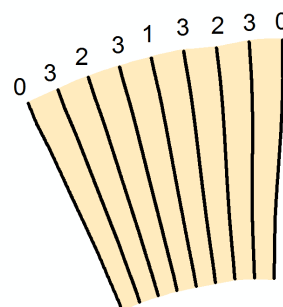
**Obr. 39 Zahuštění vrstevnice vertexy. (Zdroj: autor)**

Aby se nemusela medial axis vytvářet pro každé dvě šrafy zvlášť a výpočet se zrychlil, byly na začátku vytvořeny polygony z iniciálních šraf, základních vrstevnic a hranice území. Tyto polygony byly poté rozděleny do několika skupin tak, aby polygony dané skupiny neležely v blízkosti jeden druhého a neovlivňovaly se navzájem při tvorbě Thiessenových polygonů. Jak moc daleko by od sebe měly polygony ležet, udává hodnota faktoru, která je vstupním parametrem. Faktor určuje násobek výšky a šířky ohraničujícího obdélníku polygonu. Tímto způsobem mohly být polygony, respektive iniciální šrafy stejné skupiny poslány do procesu vytváření nových šraf najednou (obr. 41).

Pro následné mazání šraf, které se nacházejí příliš blízko sebe, byly v této části zapisovány hodnoty do atributové tabulky podle iterace, ve které byly šrafy vygenerovány. Iniciálním šrafám byla přiřazena 0, dalším nově vytvořeným šrafám pak byly přiděleny hodnoty vyšší dle iterace (obr. 40)



**Obr. 41 Princip rozdělování polygonů do skupin (Zdroj: autor)**

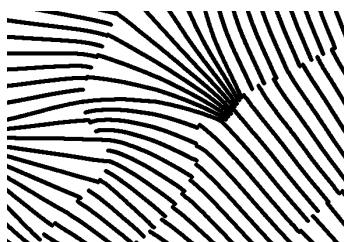


**Obr. 40 Princip zapisování hodnot dle iterace, ve které byly šrafy vygenerovány (Zdroj: autor)**

#### 4.2.4 Zkrácení šraf v místech slévání šraf

Tento krok řeší problém slévání šraf na konkávních stranách záhybů pomocí zkrácením šraf. Šrafy jsou rozděleny na části na základě nově vytvořených vrstevnic menšího intervalu a na každé části se spočítá rozestup mezi dvěma šrafi. Pokud je vzdálenost menší než zadaná minimální vzdálenost, která zaručí vizuální oddělení šraf, šrafa se vymaže.

V místech, kde dojde k nakupení šraf (obr. 42), je třeba šrafy zkrátit, tak aby nevznikal dojem slití a byla vidět mezera mezi nimi.



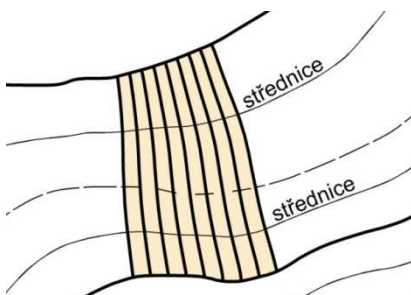
Obr. 42 Příklad místa, kde dochází ke slévání šraf (Zdroj: autor)

V první řadě je třeba určit minimální vzdálenost, kterou mezi sebou šrafy ještě mohou mít. Opět se stanovení této hodnoty odvíjí od měřítka a od intervalu šraf. Přičemž jak stanovuje Veverka (2004), tenké rovnoběžné linie jsou rozeznatelné, pokud je mezera mezi nimi větší než 0,15 – 0,20 mm. Zároveň by měla být tato hodnota minimální vzdáleností šraf  $d_{min}$  a stanovována spolu s hodnotou maximální vzdálenosti šraf  $d_{max}$ , která určuje, kdy se mají doplnit nové šrafy. Mělo by platit, že hodnota maximální vzdálenosti by měla být dvojnásobkem hodnoty minimální. Toto je z důvodu, aby se vzniklá mezera po vymazání šrafy vešla do intervalu správného rozestupu šraf  $\sigma$  a nebyla zahrnuta do oblastí, kde se mají šrafy doplňovat.

$$d_{min} < \sigma < d_{max}$$

$$d_{min} = 2 * d_{max}$$

Zkracování šraf probíhá na základě rozdělení šraf na části. K rozdělení šraf bylo využito vrstevnic. Vrstevnice základní se spojily s vrstevnicemi doplňkovými a mezi těmito vrstevnicemi byly na základě medial axis vytvořeny dvě střednice. Pomocí všech těchto vrstevnic jsou šrafy rozděleny na dílčí části (obr. 43).



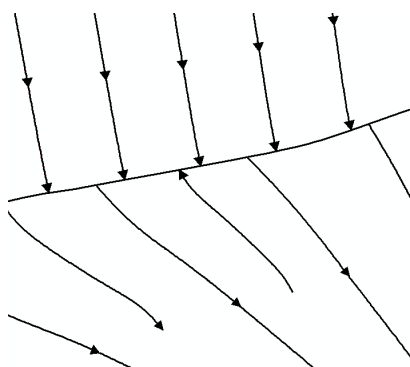
Obr. 43 Rozdělování šraf na části pro zkracování šraf (Zdroj: autor)

Alternativou ke střednicím by zde mohlo být také využití vrstevnic o čtvrtinovém, osminovém či ještě podrobnějším intervalu.

Promazávání šraf probíhá ve skriptu po polygonech, vytvořených v předchozí fázi pro doplňování šraf pomocí aproximace medial axis, složených z iniciálních šraf, základních vrstevnic a hranice území. Pro každý polygon byly vybrány šrafy, které k němu přísluší a ty části vrstevnic, které se s ním shodují.

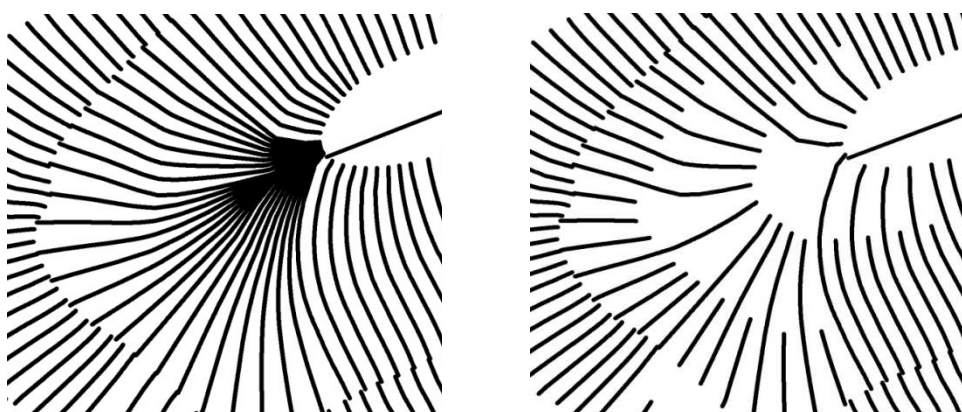
Než bylo možno přistoupit k výpočtu délek mezi jednotlivými šrafami, bylo nutno šrafy seřadit, tak aby šly postupně za sebou. V této fázi jsou rozházeny na přeskáčku, tak jak byly doplňovány pomocí medial axis s využitím Thiessenových polygonů. U každé šrafy byla třeba vypočítat její vzdálenost od počátku vrstevnice příslušného polygonu a podle těchto vzdáleností šrafy poté seřadit. Jelikož okrajové polygony nemusí obsahovat celou horní vrstevnici, celou doplňkovou vrstevnici nebo celou dolní vrstevnici, bylo potřeba pro každý polygon určit, která vrstevnice má být v daném případě pro určení vzdálenosti využita. Tohoto bylo dosaženo vybráním té vrstevnice, se kterou se kříží všechny šrafy daného polygonu. Vzdálenost byla vypočítána pomocí bodů, kde se protínají šrafy s danou vrstevnicí. Pro získání této hodnoty je potřeba postupně vybírat body a procházet jejich geometrii a geometrii vrstevnice. Délky segmentů se přičítají, dokud není nalezen průsečík daného bodu s vrstevnicí. Je ale nutné počítat s tím, že bod nemusí ležet přesně na vrstevnici, jelikož ArcGIS počítá s přesností na 0,001 m defaultně. Z tohoto důvodu je třeba stanovovat tolerance, které určují, zdali budou objekty považovány za totožné. V tomto případě je třeba najít průsečík bodu s vrstevnicí pro určení vzdálenosti bodu od počátku. A vzdálenost bodu od průsečíku je porovnávána s nastavenou tolerancí. Pokud je tolerance příliš malá, může se stát, že bod nebude ležet na linii. Výsledná informace o pozici bodu je poté připojena k příslušné šrafě.

Další problémem těchto šraf je nedodržování správné orientace. Počáteční bod správně orientované šrafy leží na horní vrstevnici, zatímco zde se v některých případech objevuje i na vrstevnici dolní (obr. 44). Pro správné výpočty rozestupu šraf bylo tedy nutné špatně orientované šrafy otočit, tak aby splňovaly podmínku, že směřují do směru největšího spádu. K vyřešení tohoto problému bylo využito DMT, ze kterého se vyextrahuje relativní výška pro počáteční a koncový bod šrafy. Ze šraf se vytvořily dvě bodové vrstvy, první, kde jsou body souřadnicemi prvního vertexu šrafy, a druhá, která představuje souřadnice posledního vertexu. Pro tyto body mohla být následně vyextrahována výška, která byla využita pro určení orientace šraf. Byly porovnávány hodnoty počátečního a koncového bodu a v případě, kdy je relativní výška koncového bodu větší než počátečního, dojde k otočení šrafy. Podmínkou použití této metodiky je dostatečně přesný DMT, jinak může docházet k vyextrahování stejné relativní výšky jak pro počáteční, tak pro koncové souřadnice šrafy a nebude na základě čeho určit orientaci šrafy. Toto se může stát i v rovinatých částech území.



**Obr. 44** Příklad špatně orientované šrafy (Zdroj: autor)

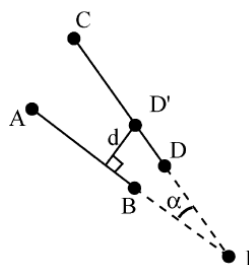
Jakmile byly šrafy seřazené a správně zorientované, byly rozděleny na části dle polygonů tvořených z připravených vrstevnic a polygonu, na kterém nyní zkracování šraf probíhá. Každému úseku šrafy byly vypočítány souřadnice prvního a posledního bodu, na nichž byly počítány vzdálenosti mezi jednotlivými šrafami. Algoritmus postupně prochází šrafy a hledá, zdali mezi některými dvěma je vzdálenost, ať už na horní nebo dolní části, menší než zadaná minimální vzdálenost. Pokud se najde takové místo, vybírá se ta šrafa, která vlastní vyšší hodnotu určující pořadí, ve kterém byla šrafa vytvořena ve fázi 4.2.3. Všechny šrafy daného polygonu se stejnou hodnotou jsou také vymazány. Jakmile dojde k vymazání některých šraf, zbylé šrafy jdou do dalšího cyklu, kde se mezi nimi opět počítají vzdálenosti. Tento cyklus probíhá, dokud nesplňují všechny šrafy podmínku minimální vzdálenosti. Vychází se zde z předpokladu, že u většiny polygonů budou vzdálenosti mezi šrafami podobné a takto dojde k pravidelnému promazání (obr. 45). A místa, kde vzniknou velké mezery mezi šrafami, jsou vyplněny v následující části algoritmu.



**Obr. 45** (a) Oblast, kde jsou třeba šrafy zkrátit. (b) Stejná oblast po zkrácení šraf (Zdroj: autor)

Alternativou k tomuto principu promazávání, by mohl být princip zmíněný v Regnauld, Mackaness, Hart (2001), který je založený na krácení šrafy, dokud nedosáhne požadované minimální mezery se sousední šrafou. V prvním kroku se musejí vybrat šrafy, které je potřeba zkrátit. Pro každou šrafu, která má být zkrácena, je potřeba najít šrafu sousedící. AB je šrafa, která má být zachována, CD je šrafa, která má být zkrácena na CD' a  $d'$  je minimální vzdálenost mezi šrafami. Je potřeba najít bod I, kde se šrafy střetávají. Poté se vypočítá úhel  $\alpha$ , který spolu šrafy svírají (obr. 46). A z toho je možné vypočítat vzdálenost ID' pomocí rovnice:

$$ID' = \frac{d}{\sin(\alpha)}$$



**Obr. 46 Metoda pro krácení šraf (Zdroj: Regnauld; Mackaness; Hart, 2001)**

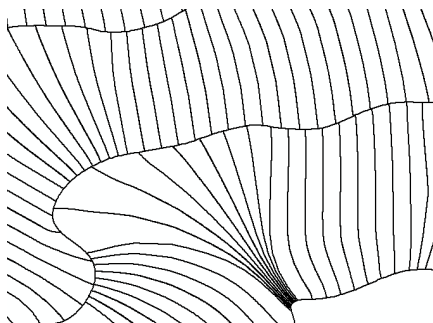
Tato metoda by mohla přinést lepší výsledky, ale princip by musel být upraven, jelikož v této práci jsou šrafy polyliniemi a vzdálenost dvou polylinií je výpočetně náročnější, než jak je tomu u jejich výpočtu vzdáleností úseček. Ve výsledku by byla velmi časově náročná.

#### 4.2.5 Doplnění šraf v místech velké mezery mezi šrafami

Mezi některými šrafami mohou naopak vznikat velké mezery, které je potřeba zaplnit pro zachování kontinuity. Stejně jako v předchozím kroku se počítá vzdálenost mezi dvěma šrafami na každém úseku a v případě, že je větší než maximální vzdálenost rozestupu šraf, šrafa se doplní stejným principem, který je popsán ve čtvrtém kroku.

V místech, kde se šrafy od sebe rozbíhají nebo v důsledku hromadného vymazávání šraf vznikají mezery, které bylo třeba zaplnit (obr. 47). Stejně jako u zkracování šraf i zde byly šrafy doplňovány postupně po polygonech a dílčích částech šraf. Pro každý polygon se postupně vybírají dvě části šrafy, mezi kterými se spočítá vzdálenost. V případě, že nastane situace, kdy je vzdálenost jak při horní, tak při dolní vrstevnici delší než zadaná, je nalezeno místo, kde je potřeba doplnit další šrafu či více šraf. Splnění obou podmínek je stanoveno z důvodu, aby na jednom konci nevznikl opět efekt slévání šraf. Bylo rozhodnuto, že vyřešení problematiky slévání má větší váhu než vznikající mezera mezi šrafami, která může být případně doplněna ruční editací. Jakmile bylo nalezeno místo, které je potřeba doplnit, bylo třeba zjistit, kolik

nových šraf do mezery vykreslit. Pro výpočet byla vybrána kratší ze vzdáleností, která byla vydělena průměrem minimální a maximální vzdáleností mezi šrafami. Tímto byl získán ideální počet nových šraf.



*Obr. 47 Vznikající mezery mezi šrafami (Zdroj: autor)*

Pro tvorbu nových šraf bylo využito stejného principu jako při doplňování iniciálních šraf popsaného v podkapitole 4.2.3. Princip vytvoření nové střední šrafy mezi původními dvěma bylo nutné mít na paměti při výpočtu počtu nových šraf, jelikož šrafy se zde doplňují po násobcích. V  $k$ -té iteraci se tak vytvoří  $2^{(k-1)}$  nových šraf. Z tohoto důvodu byl výsledek z výpočtu počtu nových šraf zaokrouhlen směrem dolů k nejbližšímu reálnému počtu šraf, které je v každé iteraci možno vygenerovat.

Je třeba nezapomenout na to, že nově vytvořené šrafy mohou mít opět špatnou orientaci, která by poté způsobovala problémy při přiřazování tloušťky šrafám a zkazila výsledný plastický efekt. Proto i zde jsou špatně orientované šrafy otočeny, tak jako bylo provedeno ve čtvrtém kroku.

#### **4.2.6 Výpočet tloušťky šrafy**

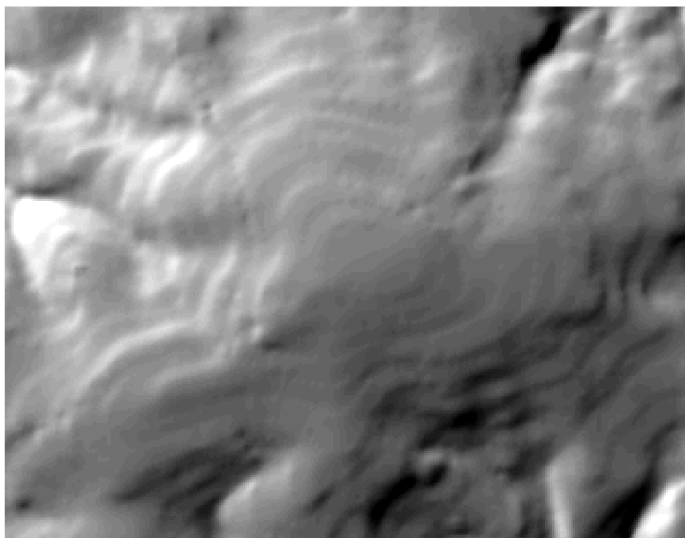
Posledním krokem je určení tloušťky šraf podle orientace vůči směru, odkud světlo přichází. U každé šrafy je vypočten úhel, který svírá, na základě kterého je pak šrafa přiřazena do určitého intervalu. Každému intervalu je na závěr přiřazena určitá tloušťka šrafy.

Poslední fází algoritmu bylo přiřazení šrafy do intervalu, který určuje, jakou tloušťku šrafa získá. Bylo rozhodováno mezi dvěma způsoby, jak tohoto docílit.

První metodou bylo využití digitálního stínovaného modelu terénu (obr. 48). Stínovaný rastr nabývá hodnot od 0 – 255, kde 0 je zobrazena nejtmaším pixelem. Pro získání hodnoty pro konkrétní šrafu z rastru, bylo využito bufferu, nad kterým se spočítá *Zonal statistics*, které umožňuje vypočítat z rastru různé statistické výpočty včetně průměru. Takto byla získána jedna hodnota pro příslušnou šrafu. Na základě vypočtených hodnot pro všechny šrafy bylo možné je rozdělit do požadovaných intervalů, kterým byla přidělena konkrétní tloušťka šrafy. Nicméně vypočtení statistiky není možné v ArcGISu pro všechny buffery najednou, jelikož dochází

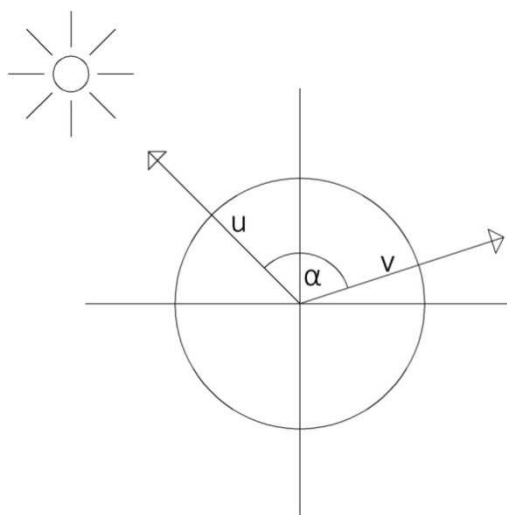


k jejich překrývání a překrývajícím bufferům jsou spojeny do jedné zóny, nad kterou se vypočítává statistika. Z tohoto důvodu by se musela postupně vypočítávat statistika pro každý jednotlivý buffer a to je velmi časově náročné.



**Obr. 48 Stínovaný model terénu (Zdroj: autor)**

Proto bylo z tohoto principu upuštěno a zvolila se metoda druhá, kdy se tloušťka šrafy určuje podle expozice vůči směru, odkud světlo přichází. U každé šrafy je vypočten úhel, který svírá s přicházejícím paprskem (obr. 49), na základě kterého je pak šrafa přiřazena do určitého intervalu. Čím je úhel menší, tím je tloušťka šrafy tenčí. Úhel nabývá hodnot od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ , kdy šrafy u horní hranice intervalu jsou naopak nejtlustší, jelikož jsou nejvíce odvrácené od zdroje světla.



**Obr. 49 Určování tloušťky šrafy dle úhlu, který svírá se zdrojem světla (Zdroj: autor)**

Velikost úhlu je vypočtena pomocí vektorů, kdy hodnota vektoru, od kterého se úhel počítá, je  $u = (-1,1)$ . Vektor šrafy je vypočten na základě souřadnic počátečního a koncového bodu, hodnota vektoru  $v = ((x_2 - x_1), (y_2 - y_1))$ . Úhel je pak vypočítán následujícím vzorcem:

$$\cos \alpha = \frac{u * v}{|u| * |v|}$$

Normalizací vektoru  $u$ , je pak výsledná rovnice:

$$\cos \alpha = u * v$$

jelikož, pro normalizované vektory  $|u| = |v| = 1$ .

Jakmile jsou úhly vypočtené, je potřeba určit do kolika intervalů se šrafy budou na základě úhlů zařazovat. Každému intervalu pak bude přidělena příslušná tloušťka. Což znamená, že je potřeba tolik intervalů, kolik různých stupňů tloušťky bude požadováno. V závěrečné fázi je již pouze třeba přidat každému intervalu požadovanou tloušťku šrafy a vizualizovat ji.

## KAPITOLA 5

### Výsledky implementace navrženého postupu

V této kapitole bude popsána implementační část práce. Cílem zde není praktická implementace všech výše popsaných postupů do posledních detailů. Není zde kladen důraz na efektivitu, ale ověření funkčnosti navržených postupů. Funkcionalita skriptů není úplně spolehlivá. Bude zmíněn software, který byl využit při navrhování algoritmu, jaká vstupní data byla použita, jaké parametry byly nastaveny, mezivýsledky testování na daných lokalitách.

#### 5.1 Software a data

##### Software

Algoritmus je vyvíjen pro geografický informační systém ArcGIS 10.1 od společnosti ESRI. Skript je programován v jazyce Python. Python je dynamický objektově orientovaný skriptovací programovací jazyk, který v roce 1991 navrhl Guido van Rossum. Python je vyvíjen jako open source projekt. Společnost ESRI zavádí Python počínaje verzí 9.0 Python ve svých produktech ArcGIS jako skriptovací jazyk. Tento skript byl programován v Pythonu 2.7 a prostředí IDLE (Python GUI). Při skriptování v ArcGIS je třeba implementovat i další žádoucí moduly. Jedním z nejdůležitějších modulů je ArcPy, který vytvořila ESRI pro práci s objekty a nástroji ArcGIS. Jeho cílem je vytvořit užitečný a produktivní způsob, jak provést geografickou analýzu dat, konverze dat a správu dat. Další z modulů je např. modul Math, který podporuje práci s matematickými funkcemi a objekty.

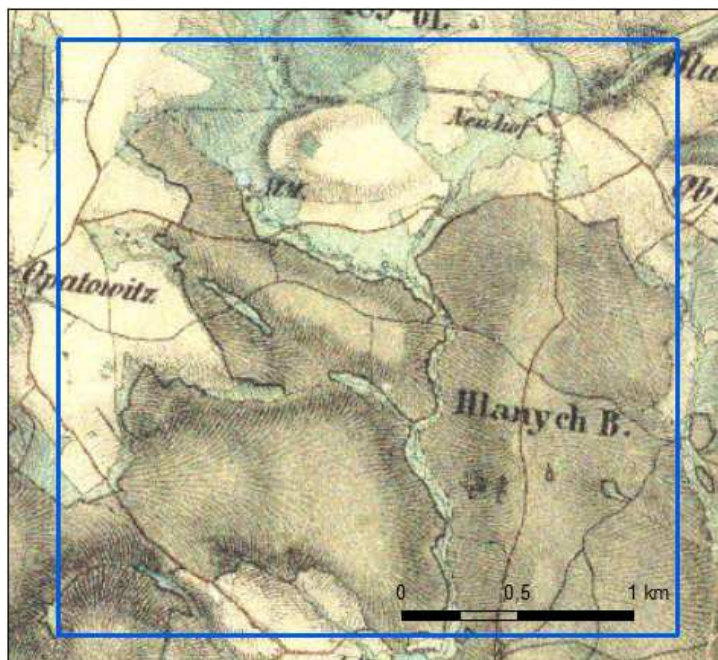
##### Vstupní data

Vstupními daty algoritmu mohou být vrstevnice nebo digitální model terénu. V této práci je využito vrstevnic ze Základní báze geografických dat (ZABAGED). ZABAGED je digitální geografický model území České republiky, který svou přesností a podrobností zobrazení geografické reality odpovídá přesnosti a podrobnosti Základní mapy České republiky v měřítku 1:10 000 (ZM 10). Data ZABAGED poskytuje Český úřad zeměměřický a katastrální (ČZUK). Byly využity 3D vrstevnice, které poskytují informace o prvcích terénu.

Pro vývoj algoritmu byly vybrány dvě testovací lokality. Jedná se o malá území nedaleko Havlíčkova Brodu, u kterých jsou také dostupné mapy z II. i III. vojenského mapování, kde bylo použito pro zobrazení výškopisu metody šraf. Byly vybírány kopcovité oblasti. První testovací lokalita byla zvolena menší s jednoduššími tvary (obr. 50), na kterém byla testována základní funkčnost algoritmu. Zatímco druhá lokalita je většího území se složitějšími tvary, oblastí prochází údolí, které je také rovinatého charakteru (obr. 51, 52). Na tomto území bylo testováno, jak se algoritmus chová v problematických oblastech.



**Obr. 50** Výřez 1. testovacího území s podkladem III. vojenského mapování (Zdroj: autor, <http://geoportal.gov.cz/>)



**Obr. 51** Výřez 2. testovacího území s podkladem II. vojenského mapování (Zdroj: autor, <http://geoportal.gov.cz/>)



*Obr. 52 Výřez 2. testovacího území s podkladem III. vojenského mapování (Zdroj: autor, <http://geoportal.gov.cz/>)*

## 5.2 Testování nad reálnými daty

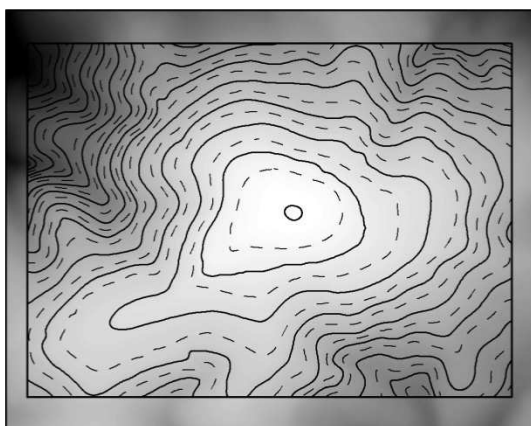
V této části práce bylo provedeno testování algoritmu nad reálnými daty. Budou zmíněny konkrétní parametry, dílčí mezivýsledky a v závěru konečné výstupy algoritmů. Testování probíhalo v měřítku 1:25 000.

### Příprava vstupních dat a určení parametrů

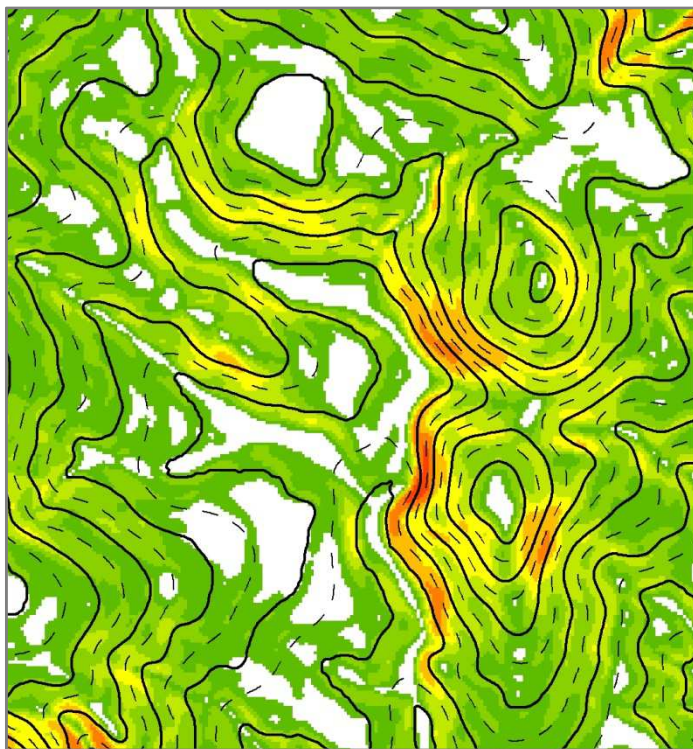
V první fázi byla připravena data, která vyžadují nadcházející skripty. V mé práci byly vstupními daty vrstevnice ZABAGED, ze kterých byla vytvořena všechna potřebná data.

Z vrstevnic ZABAGED byl vytvořen DMT, u první lokality s defaultní velikostí pixelu okolo 7 m a u druhé lokality bylo nastaveno rozlišení 10 m na pixel. Dále bylo třeba určit interval vrstevnic. Maximální sklonitost byla vypočtena kolem 13° u první lokality a 15° u druhé. Minimální délka šrafy byla stanovena u prvního testovacího území na 0,5 mm u druhého pak 1 mm. Z těchto hodnot byl poté vypočítán interval vrstevnic pro první lokalitu 5 m, pro druhou poté 10 m. Vrstevnice doplňkové byly vygenerovány s polovičním intervalem a poté od nich byly odečteny vrstevnice základní. Poté byly vrstevnice oříznuty polygonem zvoleného území. První testovací lokalita neobsahovala, žádné problematické lokality, nemusela být tedy nijak editována, zatímco u druhé lokality se vyskytují lokální maxima, která musela být z dat vymazána, tak aby bylo dosaženo dobrého výsledku. Na závěr bylo všem vrstvám nadefinováno Křovákové zobrazení.





**Obr. 53 Vstupní data testovací lokality 1  
v měřítku 1:25 000 (Zdroj: autor)**



**Obr. 54 Vstupní vrstevnice testovací lokality 2 s rastrem sklonitostí, kde červená  
je pro oblasti s největší sklonitostí a bílá jsou území se sklonitostí menší než 2°,  
v měřítku 1:25 000 (Zdroj: autor)**

Dále bylo třeba stanovit rozestup šraf. Minimální tloušťka šrafy byla stanovena na 0,03 mm, rozestup iniciálních šraf na 150 m, kdy rozestup konečných šraf vychází přibližně na 18,5 m. Na 1 cm tak připadne 14 šraf.

Ostatní parametry budou popsány u příslušných fází algoritmu.



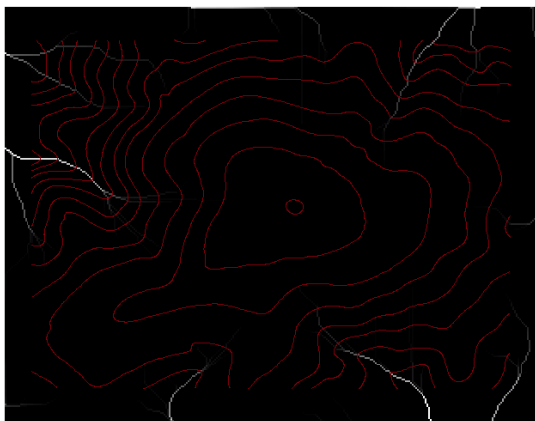
### Vykreslení iniciálních šraf ve směru největšího spádu

V této fázi byly vykresleny první tzv. iniciální šrafy. Prvním parametrem pro tuto fázi byl rozestup iniciálních šraf, který byl stanoven na 150 m. V tomto kroku se tedy vytvořily body podél první doplňkové vrstevnice, od kterých byl počítán směr největšího spádu.

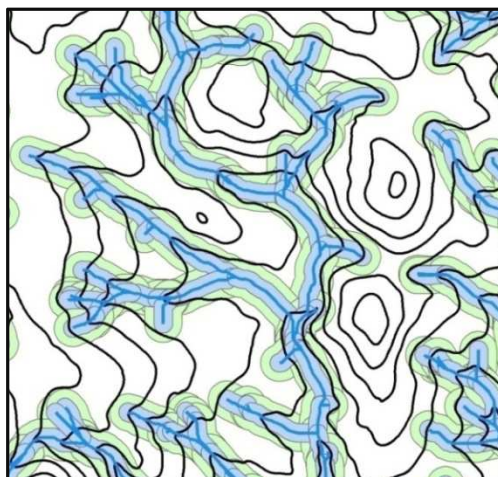
Dalším parametrem, který bylo třeba stanovit, byla délka úseku šrafy, která vznikne každou iterací po výpočtu tohoto směru. Tato hodnota byla na základě dat stanovena na 60 m. Pro zóny v oblasti údolnic byl požadavek, aby tato hodnota byla menší. Byly tedy třeba stanovit velikosti zón podél údolnic a délky pro šrafy nacházející se v těchto oblastech. Velikost bufferu tvořící druhou zónu byla stanovena na 100 m a délka na 30 m. Pro první zónu to pak byly hodnoty poloviční, a to vzdálenost zóny od údolnice 50 m a délka 15 m. U druhé lokality bylo vygenerování iniciálních šraf složitější a parametry byly v průběhu procesu upravovány tak, aby bylo dosaženo přijatelných výsledků.

Od vytvořených bodů, ze kterých se mají generovat šrafy, probíhal výpočet pro určení směru spádu. Bylo potřeba extrahovat výšky příslušného bodu a jeho okolních hodnot z DMT. Toto okolí je parametrem, který byl stanoven na 100 m u první lokality a 200 m u lokality druhé.

Po nastavení parametrů bylo možno přejít k vytvoření zón podél údolnic, které vyžaduje skript na vykreslení iniciálních šraf. Tyto zóny jsou vytvořeny s využitím DMT. Pomocí hydrologických analýz (obr. 55), byly nasimulovány vodní toky, na které byla následně aplikována funkce *Buffer*, která potřebné zóny vymezila (obr. 56)

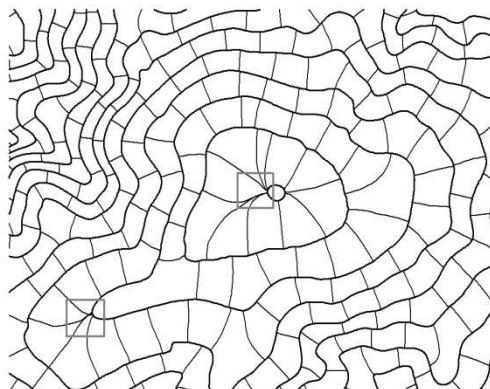


Obr. 55 Rastr s oblastmi akumulace vody (Zdroj: autor)



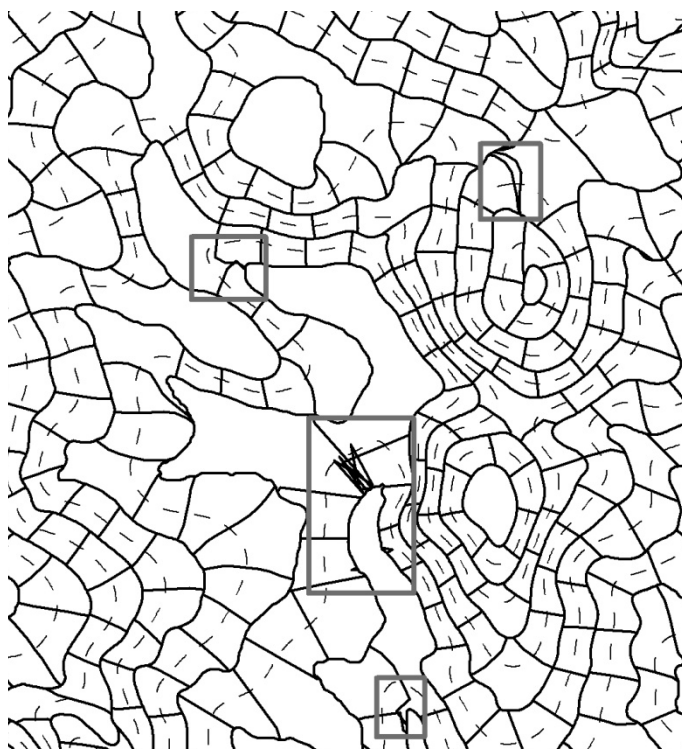
**Obr. 56 Vytvořené zóny okolo aproximací údolnic (Zdroj: autor)**

Zadáním všech vstupních data a nastavených parametrů, již bylo možno vytvoření iniciálních šraf. Výsledek tohoto procesu je zobrazen na obrázku 57.

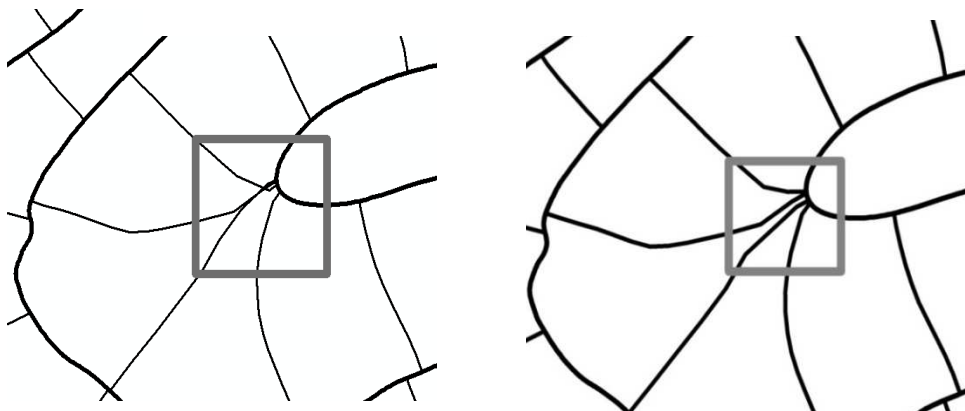


**Obr. 57 Výstup z fáze tvorby iniciálních šraf lokality 1 v měřítku 1:25 000 (Zdroj: autor)**

U první lokality bylo dosaženo poměrně dobrého výsledku, přesto vzniklo pár problematických míst, kde došlo ke křížení šraf (obr. 57). Tento problém vzniká především v oblasti hřbetnic a údolnic. Druhá lokalita byla o něco problematičtější (obr. 58). Pro předejití chybného výsledku v následující fázi, byly tyto šrafy manuálně opraveny editací. Správný průběh šraf je zobrazen na obr. 59, šrafy se nesmí křížit a musí vést od horní vrstevnice k dolní. Po úpravě šraf bylo již možné přejít do fáze doplňování šraf.



**Obr. 58** Výstup z fáze tvorby iniciálních šraf lokality 2  
v měřítku 1:25 000 (Zdroj: autor)



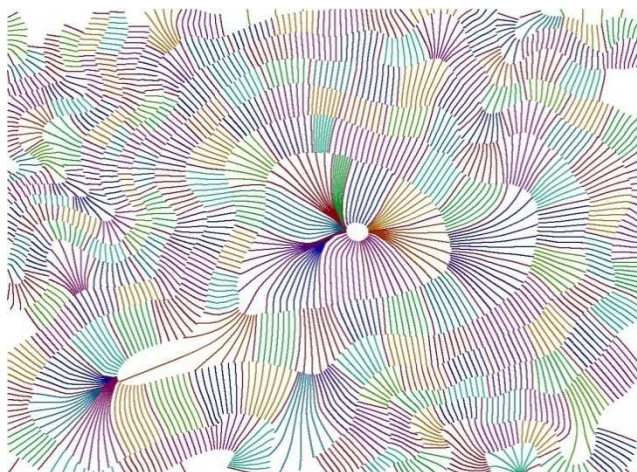
**Obr. 59** (a) Problémové místo, kde dochází ke křížení. (b) Ruční oprava křížení iniciálních šraf  
(Zdroj: autor)

### **Doplnění iniciálních šraf šrafami vytvořenými pomocí medial axis**

V prvním kroku této fáze bylo klíčové určení počtu šraf, které mají být vytvořeny mezi šrafami iniciálními. Na základě počtu šraf byl odvozen počet iterací, ve kterých se šrafy doplnily. Na začátku bylo stanoveno, že mezi šrafy iniciální má být doplněno 7 šraf nových, tím pádem vytváření šraf probíhalo ve 3 iteracích.

Doplňování šraf probíhalo po polygonech tvořených z iniciálních šraf, základních vrstevnic a hranice území, která zajistila vytvoření polygonů i na okrajích. Pro zrychlení procesu byly polygony rozřazeny do skupin, tak aby byly od sebe v dostatečné vzdálenosti a nemusela se medial axis vytvářet pro každou dvojici iniciálních šraf zvlášť. Rozřazení polygonů do skupin se odvíjí od parametru, který určuje násobek výšky a šířky obdélníku ohraničujícího polygon. Tomuto parametru byla přidělena hodnota 2, která by měla zajistit dostatečné vzdálenosti mezi polygony (obr 60).

Po stanovení parametrů mohly být již vygenerovány nové šrafy a výsledek výstupu je zobrazen na obr. 60 a 61.

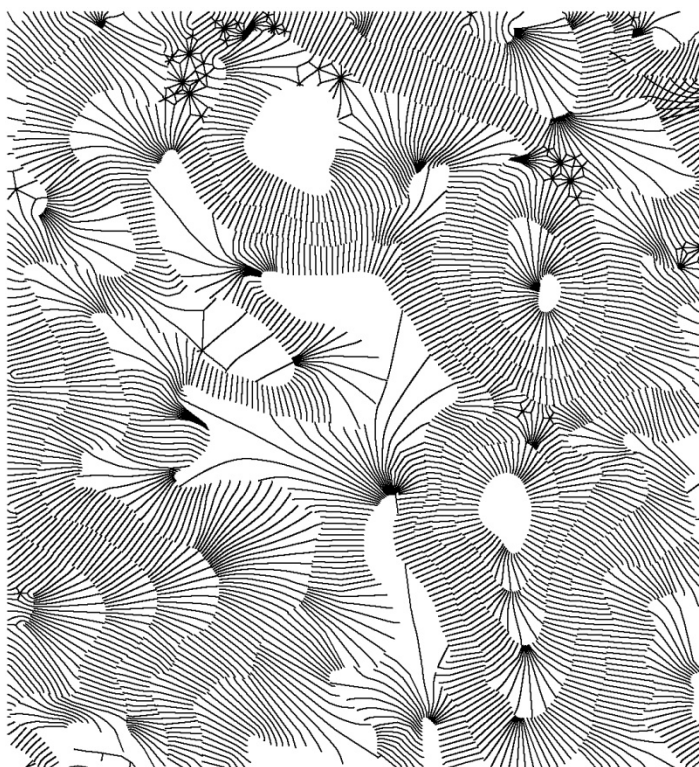


***Obr. 60 Doplnění šraf probíhalo po skupinách, tak aby se proces zrychlil (Zdroj: autor)***

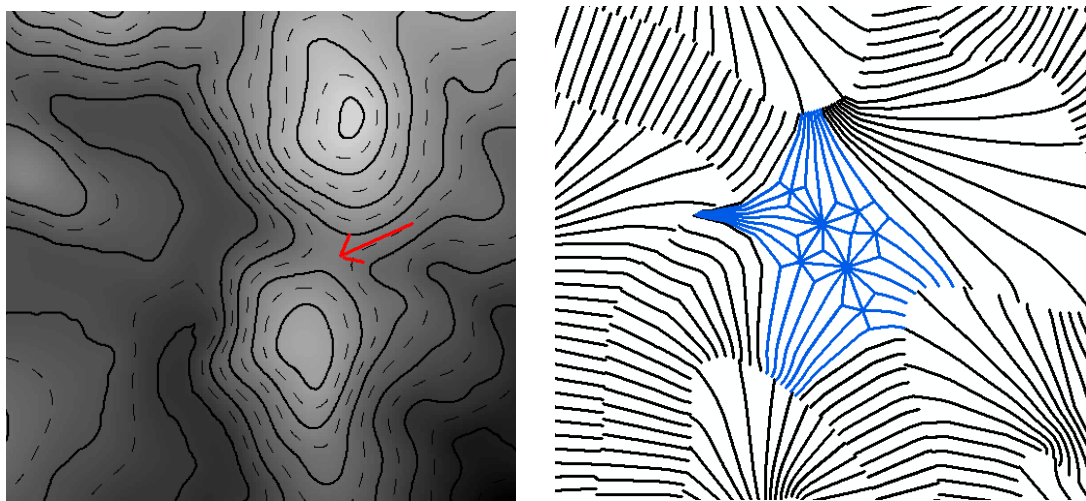
Jak je patrné z obrázků, na několika místech došlo ke slévání šraf, bylo tedy třeba některé šrafy zkrátit. Na některých místech naopak vznikají velké mezery mezi šrafy, je tedy nutné je doplnit, tak aby se tyto problémy vyřešily.

Problémovými místy jsou také oblasti sedel, kde se nenacházejí dolní vrstevnice, které by určovaly koncové body šraf. V těchto místech pak vznikají zajímavé obrazce znázorněné na (obr. 62).





**Obr. 61** Výsledek fáze doplnění šraf mezi šrafy iniciální pro lokalitu 2. V měřítku 1:25 000. (Zdroj: autor)



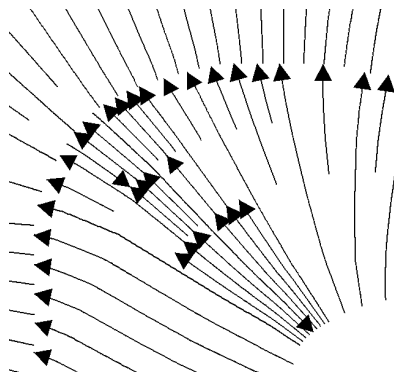
**Obr. 62** (a) Sedla jsou problémovými místy. (b) Ukázka výstupu tvorby šraf (Zdroj: autor)

### **Zkrácení šraf v místech slévání šraf**

Cílem této fáze bylo zkrácení šraf tak, aby došlo k rovnoměrnému rozmístění šraf a nedocházelo k jejich slévání. V této práci byly šrafy kráceny pomocí rozdělení šraf na čtyři části, které byly v případně malé vzdálenosti mezi šrafi promazávány. Požadovaným parametrem této fáze je určení minimálního rozestupu, který mezi sebou šrafy mohou mít. Na základě zvoleného měřítka, základního rozestupu šraf a tloušťky šraf, byla tato hodnota stanovena na 12 m. Po vynásobení 2 byla získána hodnota maximálního rozestupu.

Před samotným promazáváním částí šraf, byly šrafy nejdříve nutné seřadit podle jejich pozice. Pro výpočet vzdálenosti šrafy od počátku vrstevnice, respektive bodu jejich průsečíku, byla zadána tolerance 0,1, která by měla zajistit, že průsečíky bodů budou ležet na dané vrstevnici. Tento krok je problematický v oblasti sedel, z tohoto důvodu by měla být tato místa vynechána.

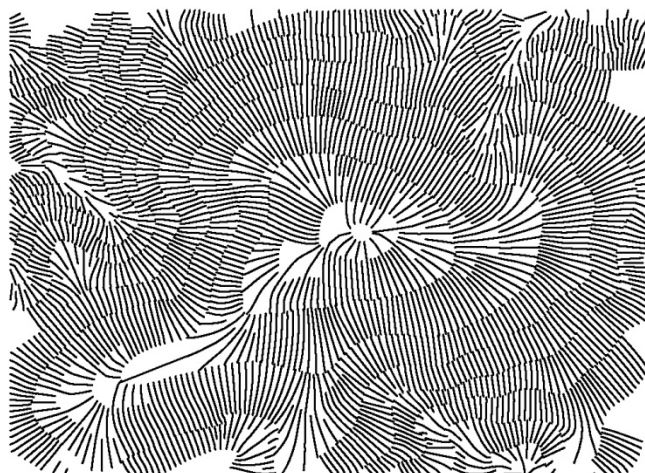
Pro správný výpočet rozestupu šraf bylo šrafy také třeba zorientovat, tak aby měly všechny šrafy stejnou orientaci, jako mají šrafy iniciální, a to takovou, že směřují s horní vrstevnice směrem k vrstevnici dolní. Bylo využito DMT, který šrafy správně zorientoval s výjimkou šraf, kde byla vyextrahována stejná relativní výška počátečního i koncového bodu šrafy. Pro minimalizování tohoto problému, byl vytvořen DMT s větším rozlišením, hodnota pixelu byla nastavena na 1m. Nicméně i tak se u dvou šraf v první lokalitě vyskytl tento problém. To má za následek špatné výpočty vzdáleností šraf a výsledek je zachycen na obrázku 63.



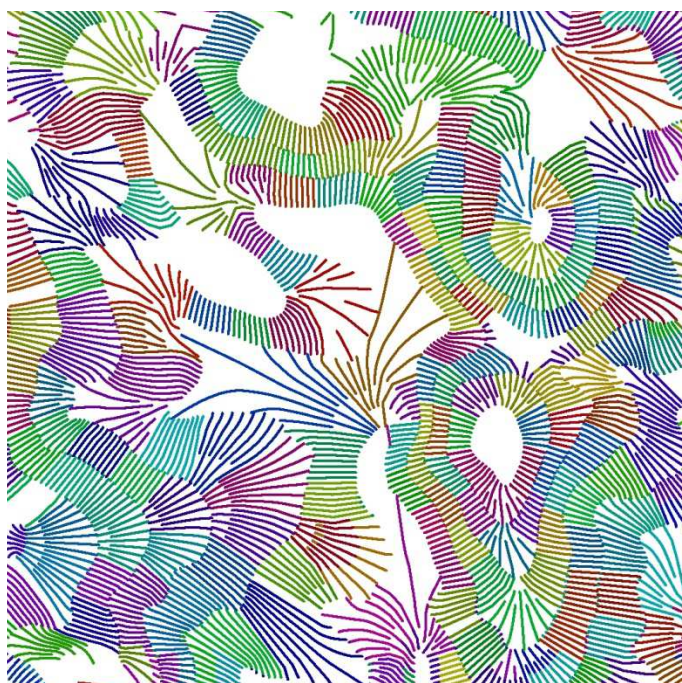
**Obr. 63 Výsledek špatně orientované šrafy (Zdroj: autor)**

Z tohoto důvodu byl proveden manuální zásah a šrafa správně zorientovaná. Daný polygon byl poté vygenerován znovu a výsledek celého výstupu této fáze je zobrazen na obrázku 64. Výstup druhé lokality je znázorněn na obrázku 65.





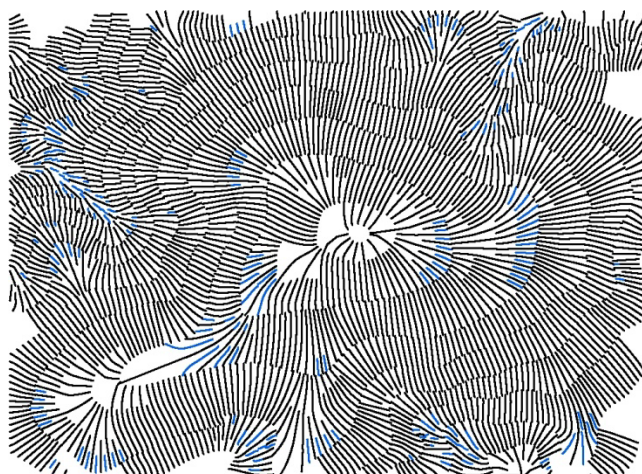
*Obr. 64 Výsledek po fázi zkrácení šraf (Zdroj: autor)*



*Obr. 65 Výstup z fáze zkrácení šraf u lokality 2 (Zdroj: autor)*

### **Doplnění šraf v místech velké mezery mezi šrafami**

Maximální možná vzdálenost šraf byla určena z hodnoty minimální vzdálenosti. Po vynásobení minimální vzdálenosti dvěma se došlo k číslu 24 m. Zde se šrafy doplňují, pokud je vzdálenost u horní vrstevnice i u vrstevnice dolní větší než 24 m. Výsledek této fáze zachycuje obr. 66, kde doplněné šrafy jsou zobrazeny modrou barvou. Přestože i po této fázi existují plochy, které by bylo vhodné doplnit šrafami, jsou podle nastaveného pravidla zaplněny správně. Jde o místa, kde dochází k velkému rozbíhání šraf. U jedné z vrstevnic je vzdálenost mezi šrafami menší než 24 m, proto není tato mezera určena k doplnění. Řešením tohoto problému by mohlo být rozdělení šraf na více částí než čtyři nebo otestování alternativy zmíněné v kapitole 4.2.4.



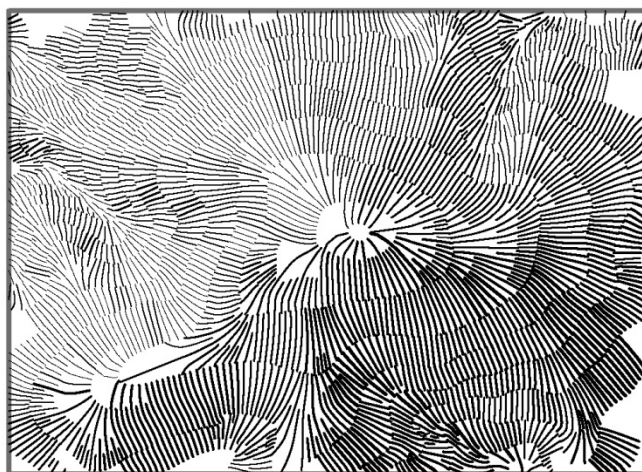
*Obr. 66 Doplněné šrafy touto fází (Zdroj: autor)*

### **Výpočet tloušťky šrafy dle hodnoty extrahované ze stínovaného modelu**

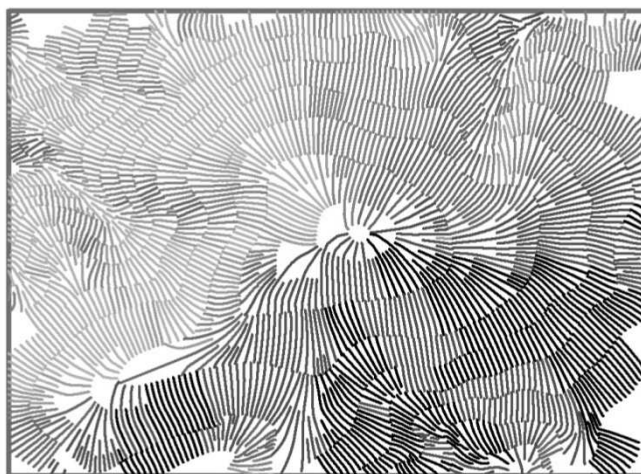
V závěrečné fázi bylo třeba šrafám přiřadit tloušťku. Toho bylo docíleno výpočtem úhlu, který šrafa svírá se severozápadním osvětlením. Následně již bylo jen třeba rozdělit šrafy do požadovaných intervalů a každému intervalu přiřadit požadovanou tloušťku. Šrafy byly rozděleny dle úhlů do 11 intervalů, kterým byla přidělena přibližná hodnota tloušťky šraf a které mohou být využity pro výslednou vizualizaci. Nicméně konečná vizualizace je jen na uživateli, který si vybírá hodnoty tloušťky šraf pro požadované intervaly.

Vymezení vlastních intervalů stupnice je umožněno v symbologii vrstvy. V nabídce je na výběr několik různých klasifikačních metod s nastavením požadovaného počtu intervalů.

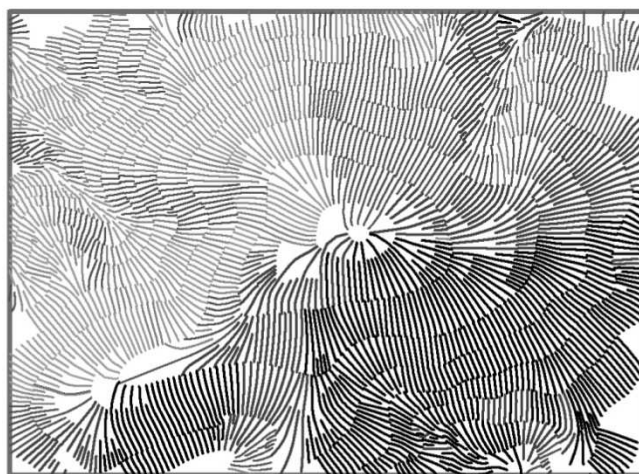
Jakmile jsou stanoveny intervaly, je možno přiřazení tloušťky šrafám. Na výběr je opět z několika možností. Může být využito spojitě stupnice, kdy hodnoty tloušťky se navyšují lineárně. Pro zvýraznění plastického efektu může být vybrána diskrétní stupnice, kdy mezi vybranými intervaly dojde ke skokovému navýšení hodnoty, např. pro zvýraznění zastíněných oblastí bude hodnota navýšena více než u intervalů předchozích. Další z možných vizualizací je využití stupnice barev namísto tloušťky, kdy každému intervalu je přiřazen určitý stupeň šedi. Možností je i kombinace barvy a tloušťky. V zastíněných oblastech pak budou šrafy nejtmavšího odstínu s největší přiřazenou tloušťkou. Příklady možností konečného výstupu jsou zobrazeny na následujících obrázcích.



*Obr. 67 Konečný výsledek lokality 1 v měřítku 1:25 000 (Zdroj: autor)*



*Obr. 68 Využití tónů šedi pro konečnou vizualizaci šraf (Zdroj: autor)*



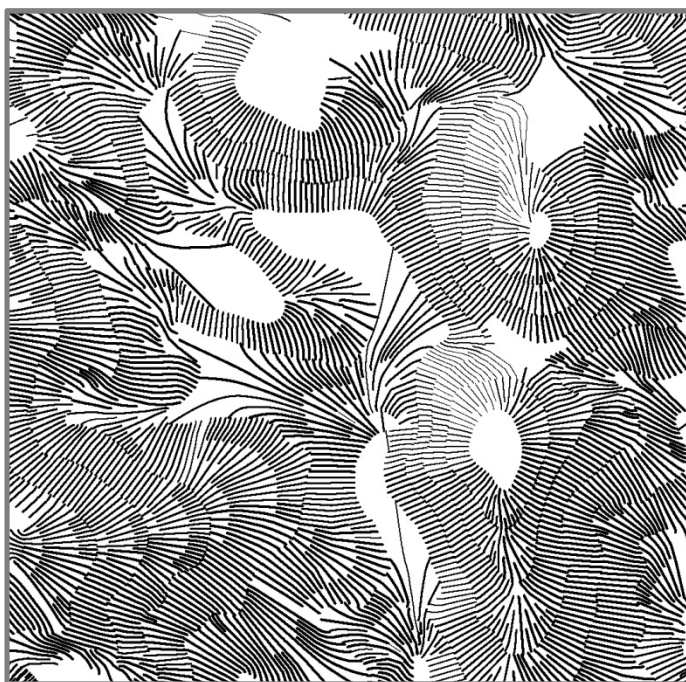
*Obr. 69 Kombinace tloušťky a barvy pro konečnou vizualizaci šraf (Zdroj: autor)*





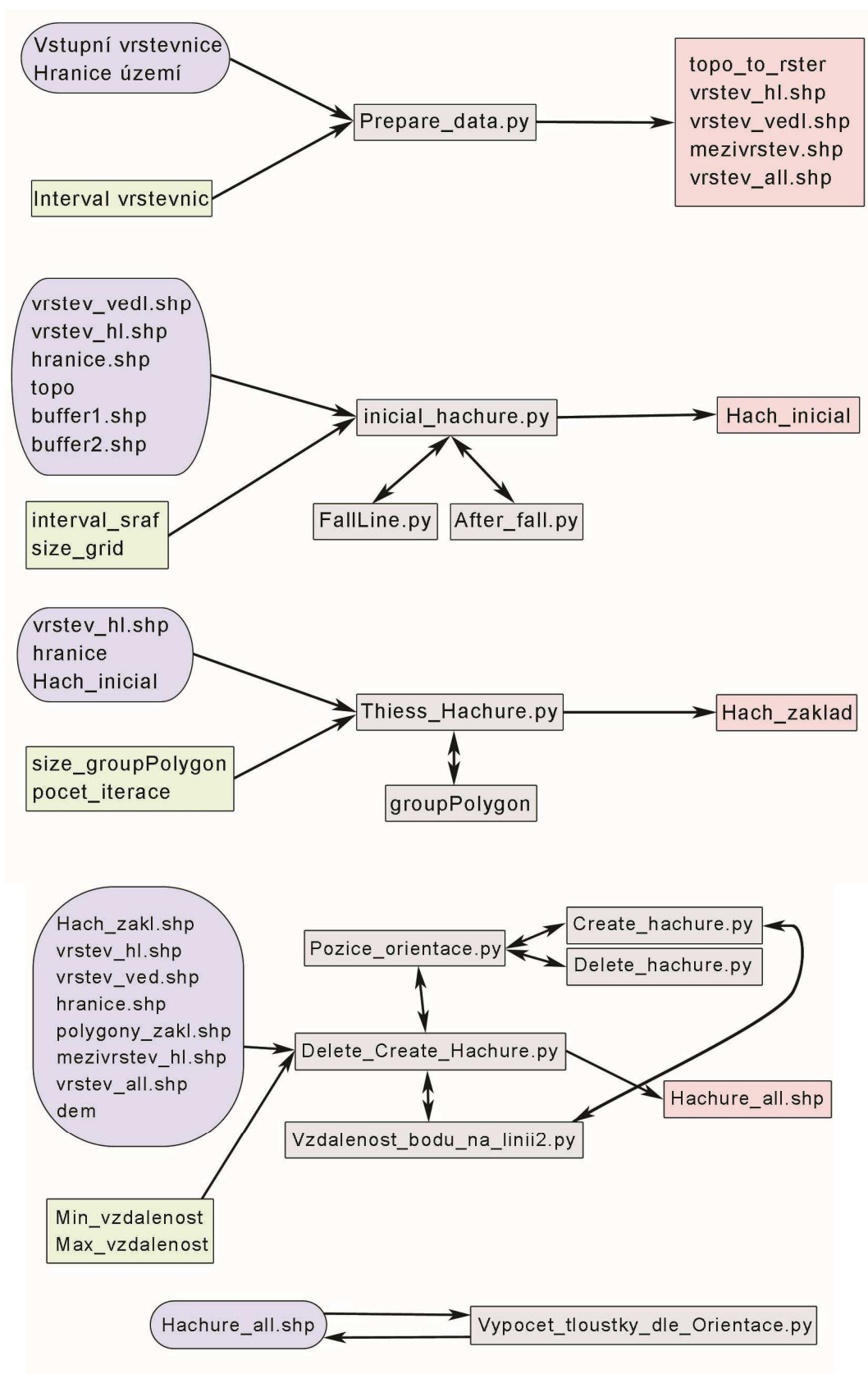
*Obr. 70 Konečný výsledek lokality 1 v měřítku 1:15 000 (Zdroj: autor)*

Na obrázku 71 je zobrazen konečný výsledek lokality 2. Jak je možno vidět, výstup z této složitější lokality je o něco horší než výsledek lokality 1. To je dáno především výskytem údolí, sedel, místních lokálních maxim. Výsledky tedy naznačují, že algoritmus by byl potřeba v budoucnu ještě doplnit o řešení těchto komplikovanějších míst, které nyní kazí estetičnost tvorby.



*Obr. 71 Konečný výsledek lokality 2 v měřítku 1:25 000  
(Zdroj: autor)*

## Schéma skriptů

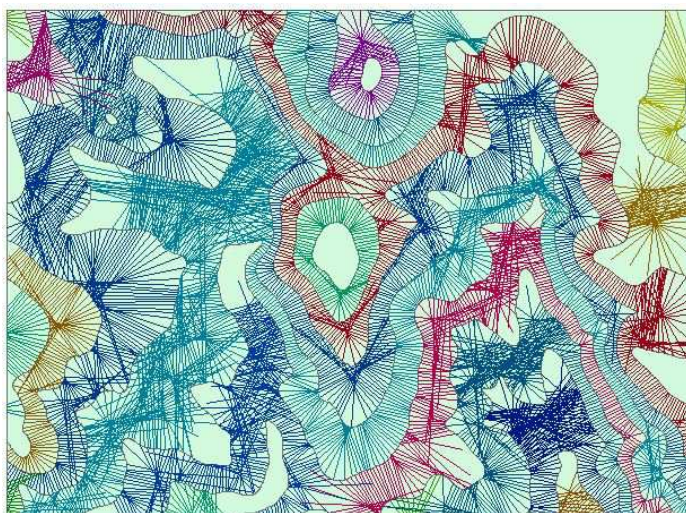


## KAPITOLA 6

### Diskuze

Tvorba šraf je v digitální kartografii velmi komplikovanou problematikou, která zatím nebyla vyřešena a je jednou z výzev k řešení. V této práci byla snaha o alespoň částečný posun této problematiky dopředu. Tvorba šraf je svázána mnoha pravidly, kde je velmi důležitou složkou také estetický vjem, který není lehce zachytitelný počítačovou technikou. Sestává se z mnoha dílčích problémů, které bylo nutné vyřešit.

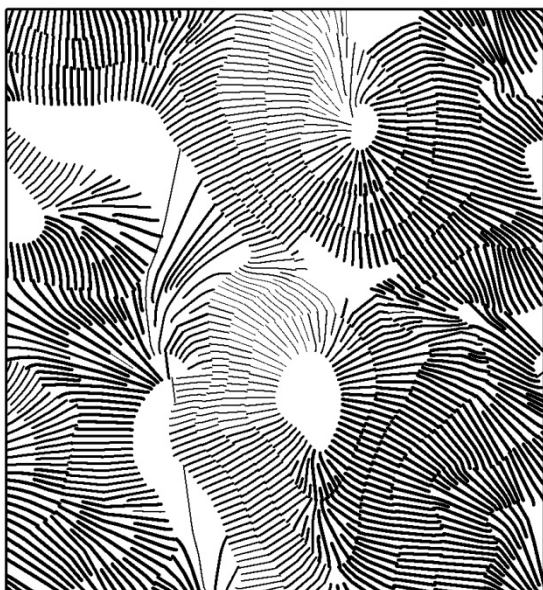
Vývoj algoritmu byl velmi náročný. Nalezená metodika, testovaná na malém území, se často později ukázala na větším testovacím území jako nevhodná, nebo musely být řešeny nově vyvstávající problémy. Území jsou značně proměnlivá a je třeba ošetření mnoha případů. Jeden z výstupů, který byl vytvořen v rané etapě vývoje algoritmu, je zobrazen na obr. 72.



*Obr. 72 Šrafy vytvořené v první etapě vývoje algoritmu s využitím kolmic (Zdroj: autor)*

Od tohoto výstupu se došlo k výsledku znázorněného na obr. 73, což by mohlo být považováno za úspěšné. Také v porovnání s výstupem od Yoeli (1985) (obr. 74), vypadá výsledek kvalitněji, s větší detailností a pravidelnějším rozmístěním šraf. Algoritmus funguje velmi dobře především na jednoduchých tvarech (obr. 75). Je dosaženo výsledku přibližujícího se estetickému ručnímu kreslení šraf. Metodika se také řídí všemi stanovenými pravidly pro tvorbu šraf.

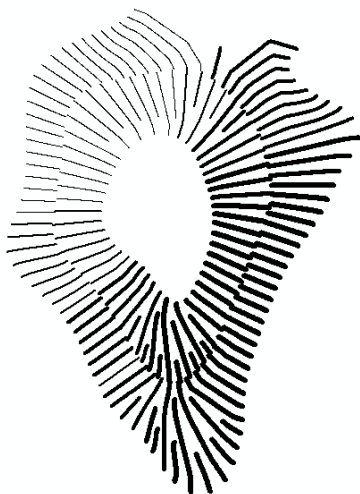




*Obr. 73 Šrafy vytvořené konečnou fází algoritmu (Zdroj: autor)*



*Obr. 74 Výstup z algoritmu od Yoeliho (Zdroj: Yoeli 1985))*



*Obr. 75 Automatická tvorba šraf na jednoduchém objektu (Zdroj: autor)*

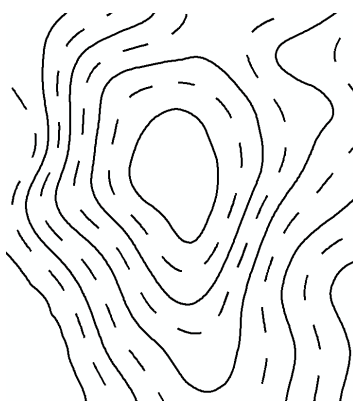
Nicméně je také třeba zmínit omezení, nedostatky a problémy této metodiky. Předpokladem úspěšného výsledku jsou vhodně zvolená vstupní data a parametry. Vybraná lokalita by neměla obsahovat území se sklonem menším než  $2^\circ$  a vzhledem k časové náročnosti skriptu by území nemělo být nijak velké. Vzhledem k požadovanému měřítku je třeba stanovit vhodné rozlišení dat a nastavení parametrů. Nastavení správných parametrů, které jsou pro výsledek algoritmu klíčové, je velmi obtížné, zvláště pak na proměnlivém území. Je nutné stanovovat parametry

v závislosti na charakteru území. Jejich určení vyžaduje určitou znalost této problematiky, nicméně ani tak to není jednoduchou záležitostí a je dobré je otestovat na malém území. Pro vyřešení vyvstávajících problémů, či pozměnění parametrů pro dílčí lokalitu, je umožněn zásah do jednotlivých fází algoritmu.

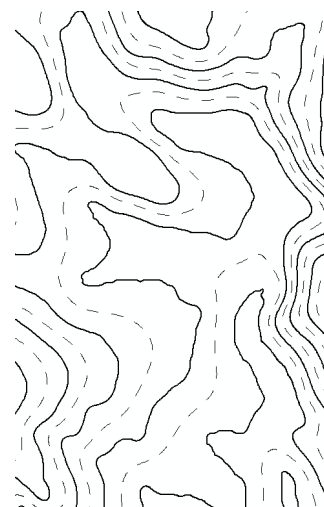
Arcpy technologie se ukázala pro řešení úlohy vhodná. Řešení této problematiky bylo rozděleno na jednotlivé skripty pro jednodušší ošetřování chyb a umožnění zásahů do skriptu. Co se ukázalo zde jako problematické, je nastavování proměnných prostředí XY Resolution a XY Tolerance. Jelikož jsou skripty provázené, bylo těžké sladit tyto hodnoty tak, aby nezpůsobovaly chyby při aplikaci některých nástrojů. Další problém, který v průběhu práce vyvstal, je, že některé funkce vykazují občas chyby bez zjevných příčin. Po opětovném spuštění skriptu projede skript již bez problému.

V budoucnu by bylo potřeba optimalizaci skriptu tak, aby se snížila jeho časová náročnost. Je stále velký prostor pro zlepšování algoritmu. Skript by vyžadoval ošetření všech možných případů, které mohou nastat při řešení složitých míst a vyřešení problémových míst. Jedním z náročných míst jsou sedla, kde se nenachází dolní vrstevnice a vznikají tam problémy. Pravděpodobně by bylo třeba tyto místa najít a vyřadit je z tvorby šraf, nebo vyřešit tak, aby šrafa vedla od horní vrstevnice k vytvořené střednici, kde by byla ukončena. Dalším problematickým místem jsou údolí, která jsou považována téměř za rovinu a jsou charakterizována protáhlými vrstevnicemi. Bylo by dobré otestovat možnost využití vrstvy s vodními toky, které by byly považovány jako dolní vrstevnice dané lokality a šrafy by směřovaly k vodnímu toku tak, jak je řešena tato problematika v klasické kartografii.

Pozornost by také měla být věnována problému orientace šraf v případě, kdy je relativní výška počátečního i koncového bodu šrafy stejná. Věcí k řešení jsou také prázdné plochy, které vznikají na vrcholech (obr. 77) . Bylo by potřeba vytvořit vrstevnice s velmi malým průměrem, nacházející se na vrcholu kopce, tak aby šrafy vedly až na samotný vrchol.



**Obr. 77 Místo, kde by bylo potřeba doplnit malou vrstevnici na vrcholu (Zdroj: autor)**



**Obr. 44 Oblast údolí, na které by bylo dobré se v budoucnu zaměřit (Zdroj: autor)**

## KAPITOLA 7

### Závěr

Přestože šrafy mohou být v dnešní době považovány za zastaralou metodu, ve skutečnosti mohou být zajímavou alternativní metodou pro zobrazení výškopisu i dnes. V určitých případech mohou být dokonce vhodnější než použití vrstevnic. Šrafy zachycují směr největšího spádu a velikost sklonu je dána délkou šrafy. Na mapách malého měřítka, kde je již použití vrstevnic složité, jsou šrafy stále dobrým nástrojem pro zachycení reliéfu. Je to metoda, která se používala několik století, má svůj tradiční styl a byla by škoda, aby byla zapomenuta.

Stále se nachází uplatnění pro využití šraf. V první řadě je to tvorba map starého vzhledu. Užití šraf je také vhodné pro znázornění morfologických struktur a jejich změn. V potlačené podobě by mohly být používány jako doplněk stínování. V neposlední řadě by mohly být využívány např. v turistických mapách horských oblastí.

Nicméně proti šrafám hovoří především jejich extrémní pracnost a potřeba kvalifikované pracovní síly pro jejich kresbu a neexistující způsob tvorby šraf pomocí digitálních technologií.

Cílem této práce bylo navrhnout automatizovaný postup tvorby šraf s využitím moderních technologií geoinformačních systémů. Výchozím místem pro návrh metodiky bylo nastudování pravidel tvorby šraf v klasické kartografii a průzkum stávajících možností tvorby šraf v kartografii digitální. Na problematiku tvorby šraf není příliš zaměřena pozornost. Bylo nalezeno pár studií zmiňující obecné postupy, jak vygenerovat šrafy, které jsou popsány v první polovině práce.

Hlavním cílem práce byl návrh a podrobný popis vlastní metodiky pro automatizaci tvorby šraf v digitální kartografii. Snahou byl co nejmenší lidský zásah do tohoto procesu, přesto je manuální zásah umožněn pro zlepšení výsledků. Ve srovnání s výstupy nalezenými v literatuře bylo dosaženo poměrně dobrých výsledků přibližující se estetice ručního kreslení šraf. Navrhnutý algoritmus je považován za úspěšný, především v lokalitách s jednoduššími tvary, a je krokem vpřed v oblasti této problematiky. Velmi složité je ovšem správné nastavení parametrů tak, aby bylo dosaženo úspěšného výstupu. Parametry je třeba odvozovat v závislosti na výsledném měřítku a charakteru území. Nicméně algoritmus má mezery, kterými by se bylo třeba ještě zabývat k dosažení plné funkčnosti skriptu. Prostor k řešení je zde ještě do budoucna velký.

## SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

- CLARK, Anthony. *Seeing beneath the soil: prospecting methods in archaeology*. Rev. pbk. ed. London: B.T. Batsford, 1996, 192 p. ISBN 07-134-7994-9.
- ČAPEK, Richard, Miroslav MIKŠOVSKÝ a Ludvík MUCHA. *Geografická kartografie*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1992, 373 s. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN 80-042-5153-6.
- HOJOVEC, Vladimír. *Kartografie: vysokoškolská učebnice pro stavební fakulty*. 1. vyd. Praha: Geodetický a kartogr. podnik, 1987, 660 s.
- HUML, Milan. *Mapování a kartografie*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 212 s. ISBN 80-01-02383-4.
- IMHOF, Eduard. *Cartographic relief presentation*. 1st ed. S.l.: Distributed to the trade in North America by Ingram Publisher Services, 2007, xx, 388 p. ISBN 15-894-8026-0.
- JURKAS, Pavel. GPS navigace- rychlé vykreslení [online]. Brno, 2009 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/72641/fi\\_m/dp.txt](https://is.muni.cz/th/72641/fi_m/dp.txt). Diplomová práce. Masarykova univerzita Fakulty informatiky.
- KENNELLY, Patrick a Jon KIMERLING. Desktop Hachure Maps from Digital Elevation Models. *Cartographic Perspectives*. 2000, no. 37, p. 78-81. Dostupné z: [http://www.mbm.mtech.edu/pdf/gis\\_hachuretxt.pdf](http://www.mbm.mtech.edu/pdf/gis_hachuretxt.pdf)
- KUCHAŘ, Karel. *Základy kartografie*. 1. vyd. Praha: ČSAV, 1953, 190 s.
- LYSÁK, Jakub. Skalní útvary v kartografii a GIS. *Geodetický a kartografický obzor: odborný a vědecký časopis Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a Úřadu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky*. Praha: Vesmír, 2010, 56/98, č. 3, s. 7. Dostupné z: <http://archivnimapy.cuzk.cz/zemvest/cisla/Rok201003.pdf>
- LYSÁK, Jakub. *Znázorňování skal v digitální kartografii a GIS: Rocks representation in digital cartography and GIS*. Praha, 2008. 96 l., [1] l. obr. příl. Vedoucí práce Jan D Bláha.
- MIGURSKI, Michal. Hachures. In: *Mike.teczno* [online]. 2012 [cit. 2013-09-020]. Dostupné z: <http://mike.teczno.com/notes/hachures.html>
- MIKŠOVSKÝ, Miroslav a Růžena ZIMOVÁ. *Historická mapování českých zemí*. [online]. 2006 [cit. 2014-08-04]. Dostupné z: [http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/71\\_miksovsky\\_zimova/paper/71\\_miksovsky\\_zimova.pdf](http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/71_miksovsky_zimova/paper/71_miksovsky_zimova.pdf)

- NOVÁK, Václav a Zdeněk MURDYCH. *Kartografie a topografie*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988, 318 s.
- O'LOUGHLIN, A. a W. A. MACKANESS. Automated Relief Representation for Visualisation of Archaeological Monuments. *In Proceedings of the 19th International Cartographic Conference*, Ottawa, 1999, p.1029-1035. Dostupné z: [http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica\\_cmc\\_sessions/1\\_Ottawa\\_Session\\_Relief/07\\_Ottawa\\_Mackaness\\_Loughlin.pdf](http://www.mountaincartography.org/publications/papers/ica_cmc_sessions/1_Ottawa_Session_Relief/07_Ottawa_Mackaness_Loughlin.pdf)
- PUTNAM, Hilary. *Representation and reality*. 1st pbk. ed. Cambridge, Mass: A Bradford Book, 1991. ISBN 978-026-2660-747.
- REGNAULD, N, W. A. MACKANESS a G. HART. (2002) Automated Relief Representation of Archaeological Monuments and Other Antropogenic Forms. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2001, 26(2-3), p.219-239 [Final Report of the Edinburgh Hachure Algorithm Project]
- ROBINSON, Arthur Howard. *Elements of cartography*. 6th ed. Wiley, c1995, 674 p. ISBN 04-715-5579-7.
- SLOCUM, Terry A. *Thematic cartography and geographic visualization*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, c2005, x, 518 p., 48 p. of plates. Prentice Hall series in geographic information science. ISBN 978-013-0351-234.
- SOUKUP, P. a M. VOTOČEK. Konstrukce přímkové kostry plochy a její využití v kartografii. *Kartografické listy*. Bratislava: Veda, roč. 2003, č. 11, s. 95-99. Dostupné z: <http://gis.fns.uniba.sk/kartografickelisty/archiv/KL11/11.pdf>
- VEVERKA, Bohuslav. *Topografická a tematická kartografie* 10. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 220 s. ISBN 80-010-2381-8.
- VEVERKA, Bohuslav a Růžena ZIMOVÁ. *Topografická a tematická kartografie*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, 198 s. ISBN 978-80-01-04157-4.
- YOELI, P. Topographic relief depiction by hachures with computer and plotter. *Cartographic Journal*. 1985, no. 22, p. 111-124.